



**Melisandra Alais dos Santos Gonçalves**

Licenciada em Ciências de Engenharia Civil

## **Estudo da flexibilidade energética através da gestão temporal de cargas térmicas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de construção

Orientador: Prof. Doutor Daniel Aelenei, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Professora Doutora Ildi Cismasiu  
Arguente: Professor Doutor Pedro Miguel Ribeiro Pereira  
Vogal: Professor Doutor Daniel Aelenei



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Julho, 2016**



‘Copyright’ Melisandra Alais dos Santos Gonçalves, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor



## **Agradecimentos**

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Daniel Aelenei, pelos contributos para a realização desta dissertação e por despertar em mim o interesse pelo estudo da eficiência energética dos edifícios ao longo do meu percurso académico.

À engenheira Ana Rute Carvalho dos Santos Ferreira, por me ter ajudado a compreender o funcionamento do programa de otimização GenOpt.

Quero também expressar a minha gratidão aos meus familiares e amigos pelo apoio, especialmente à minha mãe, pois, sem ela a realização desta dissertação seria impossível.



## Resumo

As fontes não renováveis, que foram utilizadas por muito tempo em abundância, criaram problemas ambientais e desigualdades económicas entre países, sendo Portugal um dos prejudicados economicamente.

O setor residencial é um dos principais consumidores de energia no país, em 2013 foi responsável por 27% de energia elétrica consumida em Portugal. O desenvolvimento tecnológico introduz constantemente novos equipamentos elétricos nas habitações, aumentando as necessidades energéticas e a dependência nos sistemas de fornecimento de eletricidade, por isso é necessário pensar em formas de diminuir o consumo dos edifícios e a dependência em energias não renováveis.

Esta dissertação tem como finalidade a gestão temporal de energia introduzidas por cargas como o termoacumulador, equipamentos de climatização e eletrodomésticos típicos de uma habitação, com o intuito de diminuir o desfasamento entre a procura de energia e a geração de energia utilizando painéis fotovoltaicos. Considerou-se que o edifício se localiza em três zonas diferentes, as simulações foram realizadas utilizando o programa EnergyPlus e para diminuir o consumo de energia elétrica proveniente da rede recorreu-se ao programa GenOpt, utilizou-se indicadores de concordância de cargas para analisar a otimização do consumo.

O estudo da diminuição do desfasamento temporal entre a procura e geração de energia local, com recurso ao programa de otimização, conduz a uma diminuição considerável da energia importada para satisfazer as necessidades energéticas do edifício.

Termos chaves: Flexibilidade energética; edifício com balanços energéticos quase nulos; Gestão de Cargas Térmicas; EnergyPlus; GenOpt;





## **Abstract**

The non-renewable sources, were used in abundance for energy production, created environmental problems and economic inequalities between countries, and Portugal has been economically harmed.

The residential setor is one of the main consumers of energy in the country, in 2013 was responsible for 27% of electricity consumed in Portugal. Technological development introduces constantly new electric equipment in our homes, increasing energy needs and dependence on electricity supply systems, therefore it is necessary, consider ways to reduce consumption of buildings and dependence on non-renewable energy.

This thesis aim is the management of the power introduced by loads such as water heater, air conditioning and typical appliance, in order to decrease the gap between demand energy and power generation using photovoltaic panels. The building is located in three different zones, simulations was done using EnergyPlus and the optimization program GenOpt was used to decrease the network power consumption. to analyze the optimization of loads consumption flexibility index was used.

The reduction study of the time lag between demand and generation of local energy, using the optimization program leads to a considerable decrease in imported energy to satisfy the demand.

Key Terms: energy flexibility; Near Zero Energy Buildings; management loads; EnergyPlus; GenOpt;



# Índice

1.	Introdução.....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
1.1.	Enquadramento e motivação .....	1
1.2.	Objetivos .....	2
1.3.	Plano de trabalho .....	2
2.	Estado do conhecimento.....	5
2.1.	Eficiência energética .....	5
2.1.1.	Eficiência energética no setor domestico .....	7
2.1.2.	Medidas de redução de necessidades energéticas.....	9
2.2.	Rede elétrica.....	10
2.2.1.	Potência a contratar .....	10
2.2.2.	Tipo de tarifário.....	11
2.2.3.	Ciclos energéticos semanais e diário .....	12
2.2.4.	Unidades de produção descentralizadas .....	13
2.3.	Gestão técnica de Edifícios .....	15
3.	Metodologia de estudo .....	21
3.1.	Descrição do edifício.....	21
3.2.	Perfis de consumo .....	22
3.2.1.	Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado .....	22
3.2.2.	Eletrodomésticos .....	23
3.3.	EnergyPlus.....	31
3.3.1.	Simulação energética do edifício.....	32
3.3.2.	Produção elétrica .....	37
3.4.	Métodos de controlo de carga.....	42
3.5.	GenOpt .....	45
4.	Análise de resultados.....	51
4.1.	Zona climática: Faro.....	52
4.2.	Zona climática: Lisboa .....	54

4.3. Zona climática: Porto .....	57
5. Conclusões .....	59
5.1. Desenvolvimentos futuros .....	60
6. Bibliografia.....	61
Anexo A – Perfis diários .....	I
A.1 Zona climática: Faro .....	I
A.2 Zona climática: Lisboa .....	VII
A.3 Zona climática: Porto.....	XIII

## Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Potências dos equipamentos eletrónicos domésticos .....	11
Quadro 2.2 - Preço da energia, no mercado regulado, para potência > 6,9 e <20,7 KVA (2015): EUR/kWh .....	12
Quadro 3.1 - Propriedades dos materiais e coeficientes de transmissão térmica .....	22
Quadro 3.2 - Horário diário do consumo na iluminação .....	28
Quadro 3.3 - Consumo total diário para a arrefecimento e arrefecimento .....	37
Quadro 3.4 - Inclinação ideal para os painéis fotovoltaicos .....	38
Quadro 3.5 - Número de painéis necessários para satisfazer o consumo .....	40
Quadro 3.6 - Número máximo de painéis permitidos na cobertura .....	40
Quadro 3.7 - Energia importada e Energia proveniente da produção local necessárias para satisfazer o consumo .....	45
Quadro 4.1 - A temperatura do termóstato para a época de arrefecimento de arrefecimento para Faro .....	52
Quadro 4.2 - Energia total importada e exportada para Faro .....	53
Quadro 4.3 - Quantidade de energia consumida por tipo de fonte pelos equipamentos otimizados para Faro .....	53
Quadro 4.4 - A temperatura do termóstato para a época de arrefecimento de arrefecimento para Lisboa .....	55
Quadro 4.5 - Energia total importada e exportada para Lisboa .....	55
Quadro 4.6 - Quantidade de energia consumida por tipo de fonte pelos equipamentos otimizados para Lisboa .....	55
Quadro 4.7 - A temperatura no termóstato para a época de arrefecimento de arrefecimento para Porto .....	57
Quadro 4.8 - Energia total importada e exportada para Porto .....	57
Quadro 4.9 - Quantidade de energia consumida por tipo de fonte pelos equipamentos otimizados para Porto .....	58



# Índice de figuras

Figura 2.1 - Evolução temporal da emissão de gases com efeito estufa .....	5
Figura 2.2 - Evolução temporal da taxa de dependência energética .....	6
Figura 2.3 - Evolução temporal do consumo de energia primária por tipo de fonte .....	6
Figura 2.4 - Evolução temporal do consumo de energia por tipo de setor .....	7
Figura 2.5 - Repartição de consumo de energia elétrica por setor .....	7
Figura 2.6 - Repartição do consumo doméstico por tipo de fonte .....	8
Figura 2.7 - Perfis de consumo doméstico diário .....	8
Figura 2.8 - Repartição dos consumos de eletricidade numa habitação .....	10
Figura 2.9 - Ciclo semanal para períodos de inverno .....	12
Figura 2.10 - Ciclo diário para períodos de inverno .....	12
Figura 2.11 - Ciclo semanal para períodos de verão .....	13
Figura 2.12 - Ciclo diário para períodos de verão .....	13
Figura 2.13 - Esquema de produção elétrica descentralizada .....	14
Figura 2.14 - Consumo e Produção de energia de uma unidade para produção de autoconsumo .....	15
Figura 2.15 - Representação esquemática de um Sistema de Gestão Técnica de edifícios .....	16
Figura 2.16 - Representação esquemática de sistemas KNX .....	17
Figura 2.17 - Prediction based optimisation de uma máquina de lavar roupa .....	18
Figura 2.18 - Real time based optimisation , ajuste de "setpoint" baseado na geração de eletricidade .....	18
Figura 2.19 - Real time control .....	19
Figura 3.1 – Representação do edifício em estudo .....	21
Figura 3.2 - Equipamentos para aquecimento de águas, aquecimento ambiente e arrefecimento ambiente utilizados nos alojamentos portugueses .....	23
Figura 3.3 - Consumo diário do combinado .....	24
Figura 3.4 - Consumo por ciclo da máquina de lavar roupa .....	25
Figura 3.5 - Consumo por ciclo da máquina de secar roupa .....	26
Figura 3.6 - Consumo por ciclo da máquina de lavar louça .....	27
Figura 3.7 - Consumo por ciclo do forno .....	27
Figura 3.8 - Curva de carga horaria da iluminação em Portugal .....	28
Figura 3.9 - Consumo diário da iluminação .....	29
Figura 3.10 - Diagrama do funcionamento do programa EnergyPlus .....	32
Figura 3.11 - Diagrama dum consumidor equivalente ao diagrama médio dos dias úteis .....	33
Figura 3.12 - Síntese do funcionamento diário dos equipamentos elétricos domésticos .....	33
Figura 3.13 - Perfil de consumo na época de aquecimento .....	35
Figura 3.14 - Perfil de consumo na época de arrefecimento .....	35
Figura 3.15 - Carga diária padrão para a época de aquecimento .....	36
Figura 3.16 - Carga diária padrão para a época de arrefecimento .....	36
Figura 3.17 - simulador PVGIS .....	39
Figura 3.18 - Ligações entre painéis fotovoltaicos .....	41

Figura 3.19 - Representação esquemática de um sistema fotovoltaico sem bateria simulado no EnergyPlus .....	41
Figura 3.20 - Cargas reagendáveis .....	43
Figura 3.21 - Cargas parametrizáveis.....	43
Figura 3.22 - Cargas não controláveis.....	44
Figura 3.23 - Diagrama do funcionamento do GenOpt acoplado com o EnergyPlus .....	45
Figura 3.24 - Evolução da função custo ao longo das iterações.....	50
Figura 4.1 - Load Matching da solução base para faro .....	54
Figura 4.2 - Load Matching da solução otimizada para faro.....	54
Figura 4.3 - Load Matching da solução base para Lisboa .....	56
Figura 4.4 - Load Matching da solução otimizada para Lisboa .....	56
Figura 4.5 - Load Matching da solução base para Porto .....	58
Figura 4.6 - Load Matching da solução otimizada para Porto .....	58
Figura 5.1 - importação VS exportação .....	59
Figura A.1.1 - Perfil de carga diário da solução base para época de aquecimento - Zona climática Faro .....	I
Figura A.1.2 - Perfil de carga diário da solução para época de aquecimento - Zona climática Faro .....	II
Figura A.1.3 - Perfil de carga diário total para a época de aquecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Faro .....	III
Figura A.1.4 - Perfil de carga diário para época de arrefecimento - Zona climática Faro .....	IV
Figura A.1.5 - Perfil de carga diário da solução otimizada para época de arrefecimento - Zona climática Faro ....	V
Figura A.1.6 - Perfil de carga diário total para a época de arrefecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Faro .....	VI
Figura A.2.1 - Perfil de carga diário da solução base para época de aquecimento - Zona climática Lisboa.....	VII
Figura A.2.2 - Perfil de carga diário da solução para época de aquecimento - Zona climática Lisboa.....	VIII
Figura A.2.3 - Perfil de carga diário total para a época de aquecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Lisboa.....	IX
Figura A.2.4 - Perfil de carga diário para época de arrefecimento - Zona climática Lisboa.....	X
Figura A.2.5 - Perfil de carga diário da solução otimizada para época de arrefecimento - Zona climática Lisboa .....	XI
Figura A.2.6 - Perfil de carga diário total para a época de arrefecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Lisboa.....	XII
Figura A.3.1 - Perfil de carga diário da solução base para época de aquecimento - Zona climática Porto .....	XIII
Figura A.3.2 - Perfil de carga diário da solução para época de aquecimento - Zona climática Porto .....	XIV
Figura A.3.3 - Perfil de carga diário total para a época de aquecimento solução base e solução otimizada - Zona climática Porto .....	XV
Figura A.3.4 - Perfil de carga diário para época de arrefecimento - Zona climática Porto .....	XVI
Figura A.3.5 - Perfil de carga diário da solução otimizada para época de arrefecimento - Zona climática Porto .....	XVII
Figura A.3.6 - Perfil de carga diário total para a época de arrefecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Porto .....	XVIII



# Lista de Abreviaturas Siglas e Símbolos

## Acrónimos

ONU - Organização das Nações Unidas

NZEB – Nearly Zero Energy Building

EU – European Union

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

UPP – Unidade de Pequena Produção

UPAC – Unidade para Produção de AutoConsumo

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público

DPT – DataPoint Type

AVAC – Aquecimento, ventilação e Ar Condicionado

LEDs – Light Emitting Diode

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

TED – The Energy Detective

BRE – Building Research Establishment

## Simbologia

$R_{UPAC,m}$  – Remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês  $m$ , €

$E_{fornecida,m}$  – Energia fornecida no mês, kWh

$OMIE_m$  - O valor resultante da media aritmética simples dos preços de fecho do operador do mercado ibérico de energia para Portugal relativos ao mês  $m$ , €/kWh.

$\phi_t$  – Fluxo total fornecido, lm

$e$  – Espessura, m

$\lambda$  – Condutividade térmica, W/(m. °C)

$\rho$  – Massa volúmica, Kg/m<sup>3</sup>

$C_p$  – Calor específico, J/(Kg. °K)

$R$  – Resistência térmica,  $(m^2°C)/W$

$R_T$  – Resistência térmica da solução construtiva,  $(m^2°C)/W$

$U$  – coeficiente de transmissão térmica,  $W/(m^2°C)$

$T_{warm}$  – Temperatura da água utilizada para a lavagem de roupa na máquina, °C

$T_{hot}$  – Temperatura da água no termoacumulador, °C

$T_{cold}$  – Temperatura da água fria, °C

$x$  – Fração de água quente

$F_{load}$  – Load cover fator, %

$F_{grid}$  – Grid interaction index, %

$exp_i$  – Energia exportada, j

$imp_i$  – Energia importada, j

$GM$  – Generation multiple, %

$g(t)$  – Energia produzida, j

$l(t)$  – Energia consumida, j

$LOLP$  – Loss of loads probability, %

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento e motivação

Após séculos de produção e consumo de energias que resultam da combustão dos produtos fósseis, que libertam dióxido de carbono para a atmosfera principal responsável pelo aumento do efeito de estufa, começaram a ocorrer fenómenos ambientais como o “smog” que alertaram para os impactos da industrialização sobre o meio ambiente. No final do SÉC.XX começaram-se a realizar conferências e relatórios para consciencializar a sociedade sobre a relação Homem-Ambiente e os problemas ambientais associados ao uso de energia fósseis. Com o passar do tempo apercebeu-se que o uso de energias fósseis gera também problemas económicos para os países não produtores de combustíveis fósseis, como é o caso dos países da União Europeia.

Com o intuito de reduzir as emissões e importações de energia, em março de 2007, realizou-se o conselho europeu sobre eficiência energética na união, onde decidiu-se estabelecer e adotar um conjunto de objetivos estratégicos até 2020, relativamente aos níveis de emissão, quotas de energias renováveis e eficiência energética registados em 1990:

- Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 20%;
- Aumentar a quota das energias renováveis em 20%;
- Aumentar a eficiência energética em 20%.

Além disso, no dia 19 de maio de 2010 foi publicada a diretiva 2010/31/EU, que obriga que a partir de 31 dezembro de 2020 todos os novos edifícios da UE sejam *Nearly Zero Energy Building (NZEB)*, ou seja, edifícios com balanço energético quase nulo. “Um edifício de balanço energético quase nulo é um edifício com um desempenho energético muito elevado devido à adoção de medidas de eficiência que tenham em conta o aquecimento e o arrefecimento passivo, os sombreamentos, a qualidade do ar interior e a luz natural adequada entre outras, em que as necessidades são supridas por fontes renováveis de energia produzida no local ou nas proximidades” [5].

Assim “No contexto NZEB os edifícios passam de simples consumidores de energia a “prosumers”, que, além de poderem satisfazer as suas próprias necessidades energéticas, podem ainda abastecer a rede elétrica” [5]. Como os períodos de geração de energia não correspondem aos períodos onde se verificam as necessidades energéticas gera-se um desequilíbrio energético, assim a introdução do conceito de flexibilidade energética<sup>1</sup> é necessária para adaptar o consumo dos edifícios à produção de energia a partir de fontes de energia renováveis.

---

<sup>1</sup> Flexibilidade energética é a habilidade de gerir o consumo e a produção de energia de acordo com as condições climáticas, necessidades do consumidores e acontecimentos da rede [8].

Esta dissertação surge da necessidade de eliminar o desequilíbrio energético, estudando modos de ajuste de cargas à geração de energia. O ajuste de cargas é realizado recorrendo a sistema de gestão de cargas que monitorizam e controlam os consumos de todos os equipamentos do edifício de modo a diminuir o consumo de eletricidade da rede e os custos associados ao consumo.

## **1.2. Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo o estudo da gestão de cargas introduzidas por equipamentos elétricos com a finalidade de diminuir o desfasamento temporal entre o consumo de energia e a produção elétrica gerada por painéis solares num contexto doméstico. Trata-se dum tema atual que é do interesse tanto dos consumidores que produzem a energia como dos que dependem da energia proveniente da rede. Os consumidores que recorrem à microprodução de energia devem “controlar” o consumo, visto que o custo de venda de eletricidade à rede de fornecimento é muito inferior ao custo de compra de energia, e necessitam de controlar os seus consumos porque as fontes de energias renováveis dependem de condições climáticas, que são imprevisíveis. Apesar da nova legislação permitir o autoconsumo e a venda de energia, grande parte dos edifícios habitacionais dependem exclusivamente da energia provenientes da rede de distribuição, que tem um custo que varia ao longo do dia. Por isso, é do interesse do consumidor saber como pode satisfazer as suas necessidades economizando.

## **1.3. Plano de trabalho**

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, que serão descritos de seguida.

O primeiro capítulo é a introdução, cujo objetivo é executar um enquadramento do tema, referir os objetivos a que se pretende alcançar e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo, estado do conhecimento, subdivide-se em três subcapítulos. O primeiro apresenta um estudo da eficiência energética em Portugal, particularizando o setor doméstico, apresentando gráficos de evolução temporal do consumo de energia provenientes de fontes renováveis e não renováveis e de produção de energia. Refere medidas que podem ser implementadas para reduzir as necessidades energéticas e consumo de eletricidade. No segundo realiza-se um estudo do mercado de fornecimento energético, referindo os tipos de potência, tarifários possíveis de contratar e as diferentes unidades de produção permitidas por lei. O último subcapítulo aborda os sistemas de gestão técnica de edifícios, expondo o funcionamento destes e as estratégias utilizadas para melhorar a eficiência energética dos edifícios.

O terceiro capítulo, Metodologias de trabalho, subdivide em cinco subcapítulos. O primeiro, descrição do edifício, caracteriza o edifício em estudo referindo as soluções construtivas adotadas e as

propriedades do material. O segundo, Perfis de consumo, expõe os perfis de consumo dos equipamentos domésticos em estudo. O terceiro subcapítulo, EnergyPlus, aborda o programa de simulação utilizado para obter os perfis de consumo dos equipamentos responsáveis pela climatização e aquecimento de águas quentes sanitárias, fornece ainda a curva de produção de eletricidade. O quarto subcapítulo métodos de controlo de carga, expõe os tipos de cargas e métodos de controlo existentes e os métodos utilizados para diminuir o consumo de energia proveniente da rede elétrica de distribuição. O último subcapítulo, GenOpt, introduz o programa de simulação, princípio de funcionamento mencionando o algoritmo escolhido e as variáveis utilizadas.

No capítulo quarto, análise de resultados, compara-se os resultados das otimizações realizadas pelo programa GenOpt, apresentando os índices utilizados na comparação.

O último capítulo é a conclusão, neste capítulo expõe-se conclusões obtidas na realização desta dissertação.



## 2. Estado do conhecimento

Neste capítulo será efetuado um estudo sobre a eficiência energética, o mercado energético em Portugal e os sistemas de gestão técnica de edifícios, expondo o funcionamento destes e as estratégias utilizadas para melhorar a eficiência energética dos edifícios.

### 2.1. Eficiência energética

Em 1997 na cidade de Quioto assinou-se um protocolo para a redução/limitação da emissão dos gases que agravam o efeito estufa. O protocolo de Quioto estabeleceu que Portugal não pode aumentar as suas emissões em +27% em relação aos níveis de 1990, não podendo exceder no período 2008-2012 77174,09 tCO<sub>2</sub>eq [9]. Para tal foi necessário executar uma reforma dos setores de energia e transporte, promover o uso de fontes de energia renováveis, limitar as emissões de metano na gestão dos resíduos e proteger florestas e outras fontes de eliminação de carbono. A evolução temporal da emissão de gases com efeito estufa em Portugal pode ser constata na figura 2.1

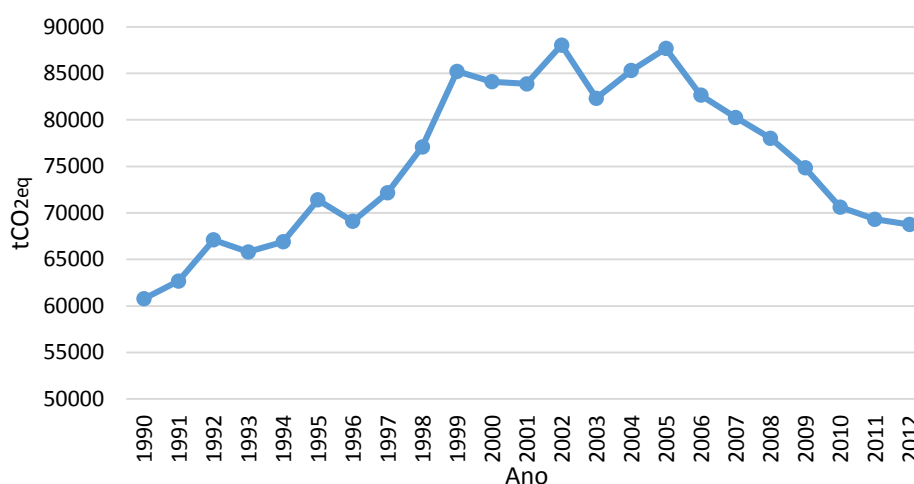


Figura 2.1 - Evolução temporal da emissão de gases com efeito estufa (Fonte: PORDATA)

Pela figura 2.1 nota-se que houve um aumento das emissões de gases com efeito estufa em Portugal em relação aos níveis de emissão de 1990, contudo, este aumento foi de aproximadamente 13% de 2012 para 1990, abaixo do limite imposto pelo protocolo. O cumprimento do protocolo deveu-se às legislações europeias e nacionais, referidas em seguida, que entraram em vigor após o tratado.

Com a finalidade de cumprir as metas 20/20/20 definidas pela EU, Portugal desenvolveu uma série de planos estratégicos articulados entre si, como sejam o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAE), o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAEC) e o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE) [10].

O PNAE é um plano de ação agregador de um conjunto de programas e medidas de eficiência que tem como objetivo a redução do consumo de energia final em 10% até 2015. O plano abrange quatro

áreas específicas de atuação: transportes; residencial e serviço; indústria e Estado em três áreas transversais de atuação: comportamento; fiscalidade; incentivos e financiamento.

Pretende-se com a implementação do plano uma economia energética de cerca 1792 milhares de toneladas equivalentes de petróleo no ano de 2015 e redução para o período 2008-2015 da taxa de crescimento da fatura energética em cerca de 1,1 % ao ano até 2015.

A implementação destas medidas beneficia o país a nível ambiental e económico, uma vez que para assegurar as necessidades energéticas há que importar produtos energéticos, o que provoca uma dependência energética do exterior. A variação temporal da dependência energética de Portugal pode ser observada na figura 2.2

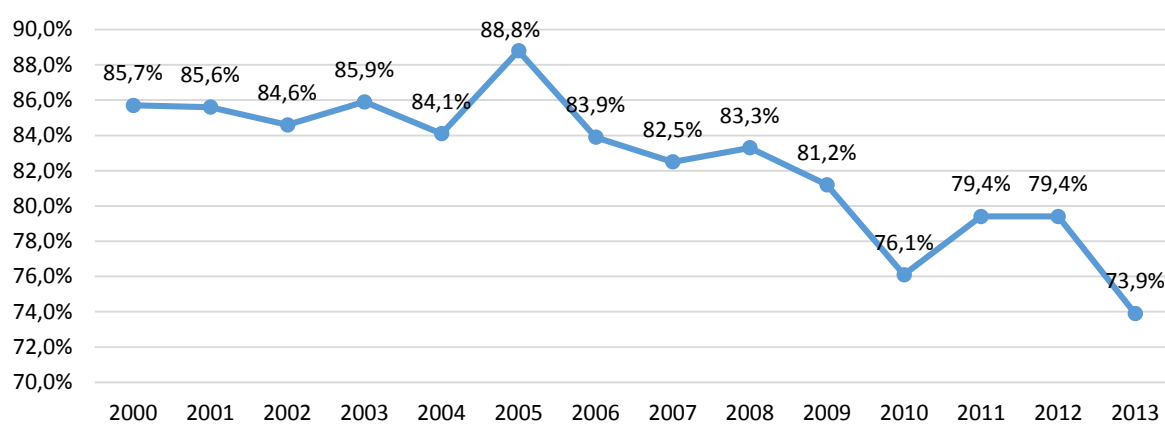


Figura 2.2 - Evolução temporal da taxa de dependência energética (Fonte: PORDATA)

Pelas figuras 2.1 e 2.2 verifica-se que existe uma relação entre a taxa de dependência energética e o consumo de energias provenientes de fontes não renováveis (petróleo e carvão), isto evidencia, a necessidade de acabar com a utilização de fontes fósseis, no fornecimento de energia para o bem do país, tanto a nível económico como ambiental. A diminuição destes fatores deve-se aos programas e planos referidos anteriormente, que promovem o consumo de energia provenientes de fontes renováveis.

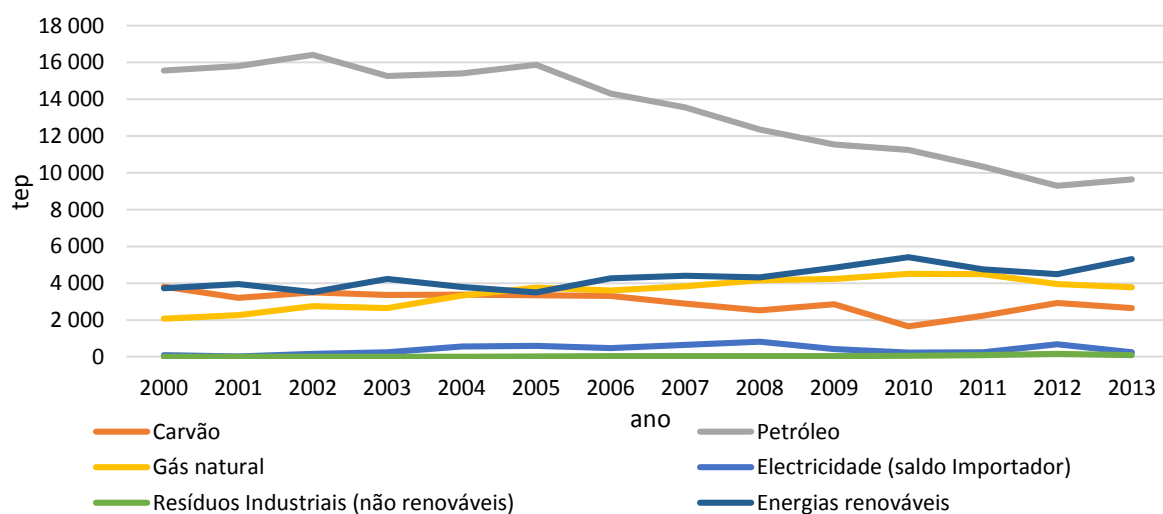


Figura 2.3 - Evolução temporal do consumo de energia primária por tipo de fonte (Fonte: PORDATA)



Através da figura 2.3 verifica-se que o consumo de petróleo e carvão está a diminuir enquanto que o consumo de energias primárias provenientes de fontes renováveis e gás natural está a aumentar. O gás natural é o combustível fóssil com a queima mais limpa, face a outras fontes de energias fósseis, da queima do gás natural resultam menores emissões de óxidos de enxofre, de azoto e de dióxido de carbono, por isso contribui para a melhoria do ambiente.

### 2.1.1. Eficiência energética no setor doméstico

A evolução temporal do consumo de energética nos diversos setores encontra-se representada na figura 2.4, constata-se que, desde 1990 o setor doméstico é o terceiro maior consumidor de energia nacional. Em 2013, foi responsável por 17% da energia consumida em Portugal.

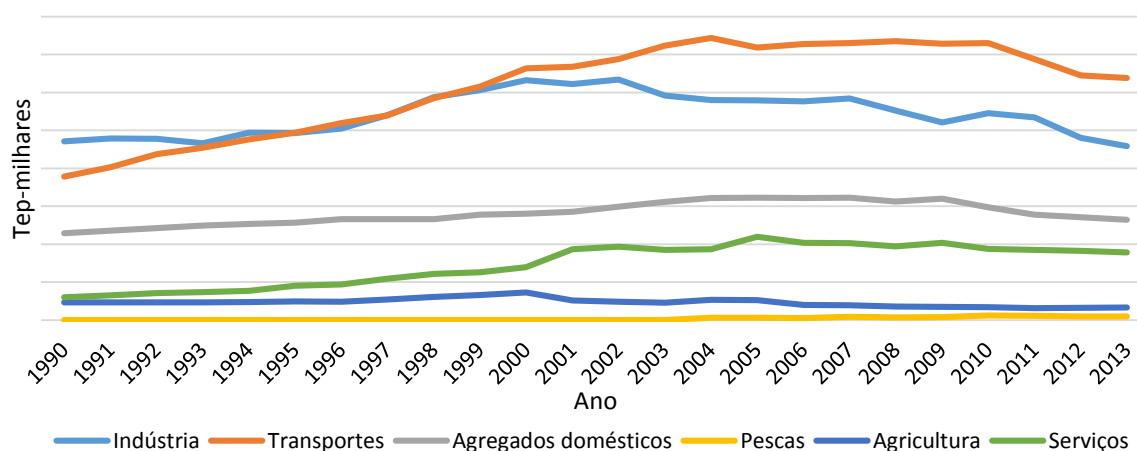


Figura 2.4 - Evolução temporal do consumo de energia por tipo de setor (Fonte: PORDATA)

Devido ao aparecimento de equipamentos tecnológicos com preços de aquisição acessíveis à população, cuja utilização permite uma vida quotidiana mais facilitada e confortável, o consumo de energia elétrica tem vindo a aumentar. Em 2013 o setor doméstico foi responsável pelo consumo de 12,3TWh de eletricidade, sendo o terceiro maior setor de consumo de eletricidade em Portugal, facto constatado pela figura 2.5.

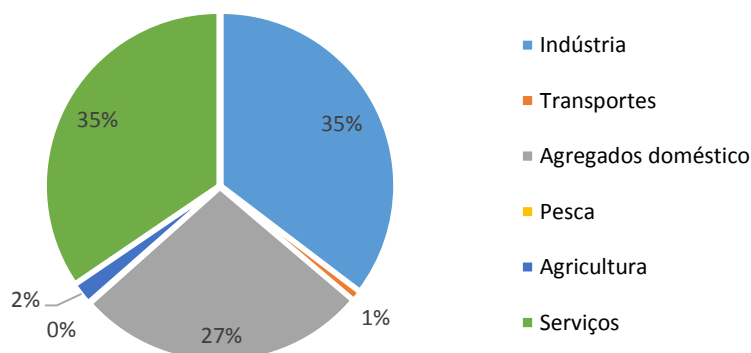


Figura 2.5 - Repartição de consumo de energia elétrica por setor (APREN)

A figura 2.6 apresenta a repartição do consumo no setor doméstico por tipo de fonte. A eletricidade representou 41% da energia consumida, sendo a maior fonte de consumo, seguido de consumos de energias renováveis sem eletricidade (energias renováveis cuja finalidade não é a produção de eletricidade), que representou 31% da energia consumida.

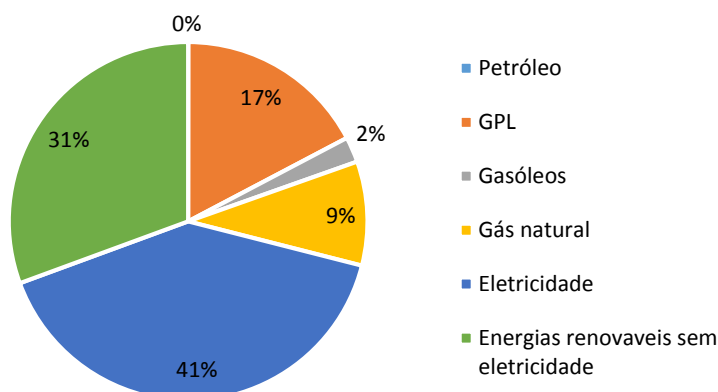


Figura 2.6 - Repartição do consumo doméstico por tipo de fonte (APREN)

Os perfis de consumo diário apresentados em seguida foram retirados do projeto Annex42 e foram providos pela ADENE [12]. No relatório do projeto Annex42, é referido a incerteza da dimensão das propriedades monitorizadas e se o consumo de eletricidade inclui ou exclui AVAC. Em Portugal, os dados foram recolhidos entre 2000 e 2001 e a campanha de monitorização incluiu 28 famílias. A monitorização teve uma duração média de 38 dias em cada família, perfazendo um total de 1064 dias de dados disponíveis. Os dados dos perfis foram registados em intervalos de 10 minutos. Os perfis abaixo resultam dos registos feitos nos dias de fim-de-semana (we) e dias úteis (wd) nos períodos de inverno (wi), verão (su), primavera (sp) e outono (au).

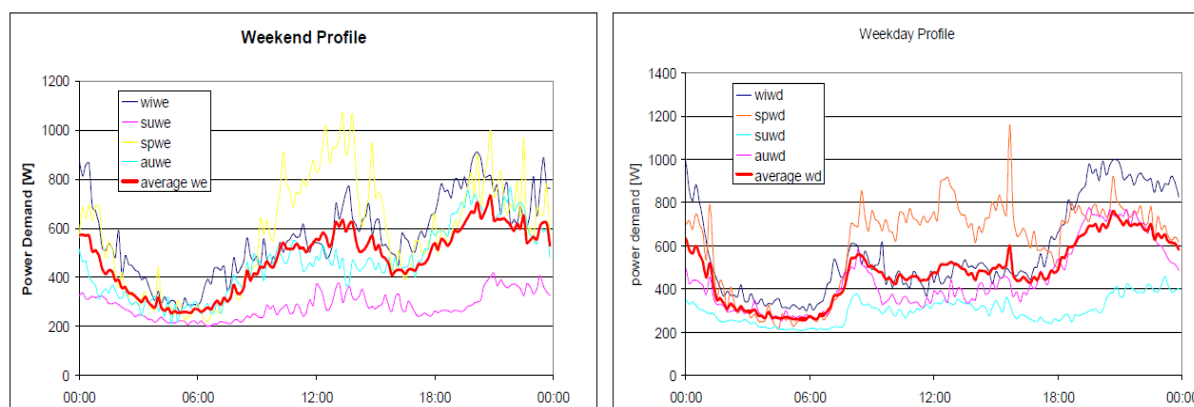


Figura 2.7 - Perfis de consumo doméstico diário (Fonte: Annex42)

Deve ter-se em consideração que diferentes famílias geram perfis sazonais diferentes, portanto os resultados desta publicação só podem ser utilizados como indicadores de consumo médio de energia elétrica doméstica em Portugal. A figura 2.7 mostra que os perfis de primavera têm o maior consumo

de energia durante o período diário e os picos de consumos, nesta época do ano, ocorrem à tarde enquanto que os picos de consumo no inverno acontecem à noite. A variação do consumo diário ao longo do ano deve-se à variação do tempo de permanência das pessoas nas residências.

### 2.1.2. Medidas de redução de necessidades energéticas

Para melhorar a eficiência energética de um edifício, há que diminuir o consumo e aumentar a contribuição das energias renováveis simultaneamente. A adoção de soluções ou medidas energeticamente eficientes nos edifícios começam a ser tomadas na fase de projeto, com a escolha da localização, orientação, fator de forma, estratégias de sombreamento, redes prediais, materiais e sistemas construtivos. Estas medidas não fazem parte do objeto de estudo do presente trabalho, no entanto existem medidas comportamentais tomadas pelos utilizadores, que podem contribuir imenso para a poupança energética, tais como:

- Ter em conta a etiqueta energética na escolha de eletrodomésticos

A etiqueta energética informa o consumidor sobre a eficiência dos equipamentos domésticos. Na compra de um eletrodoméstico deve-se ter sempre em conta o seu grau de eficiência, para que não se verifique um excessivo consumo de energia para realizar as funções.

- Eliminação do tempo dos equipamentos em modo Standby e consumos fantasmas

No modo standby o aparelho está a consumir, sem estar a desempenhar a sua função indicando o consumo (por exemplo, mantendo uma luz de presença acesa). Quanto aos consumos fantasma ou off-mode, dizem respeito ao consumo de energia quando o equipamento não está a desempenhar a sua função sem haver a indicação do consumo. Os consumos fantasmas acontecem, por exemplo, quando se deixa o carregador ligado à tomada sem estar conectada ao telemóvel/computador. A eliminação destes desperdícios pode ter um peso significativo na redução da fatura energética. Os equipamentos de informática e de entretenimento são os grandes responsáveis por estes consumos, sendo que, a aquisição deste tipo de aparelhos tem vindo a aumentar em Portugal. Deste modo, o potencial de redução do consumo doméstico de eletricidade revela-se bastante expressivo. Segundo o site EcoCasa, estima-se que em cada lar português consume-se em média 193kWh/ano em standby e off-mode, o que corresponde a um peso de cerca de 4,8% na fatura energética anual [12].

- Medição do consumo a tempo real

O primeiro passo para poupar energia é saber exatamente como, quando, onde e o que consome. A instalação de smart meters permitirá consciencializar o utilizador do consumo que efetua, podendo perceber, quais são os consumos que um eletrodoméstico gera e qual o custo de operação do mesmo em certos horários. Para os fornecedores, também, é vantajosa a instalação de smart meters, porque através destes podem prever quando ocorrerão os picos de consumo domésticos

O conhecimento do uso final da eletricidade dentro de uma habitação também é muito importante para a diminuição do consumo doméstico, pois permite conhecer quais são os eletrodomésticos que mais consomem energia possibilitando uma maior eficácia na escolha das medidas para a redução do consumo.

Pode-se verificar pelo diagrama presente na figura 2.8 que os equipamentos de maior consumo energético são os frigoríficos/combinaos, representado 22% do consumo de eletricidade final. Este valor é seguido pelos consumos para o aquecimento ambiente, iluminação e outros, respetivamente 15% e 12% do consumo total. A climatização (aquecimento e arrefecimento) representa no total 17% do consumo de eletricidade.

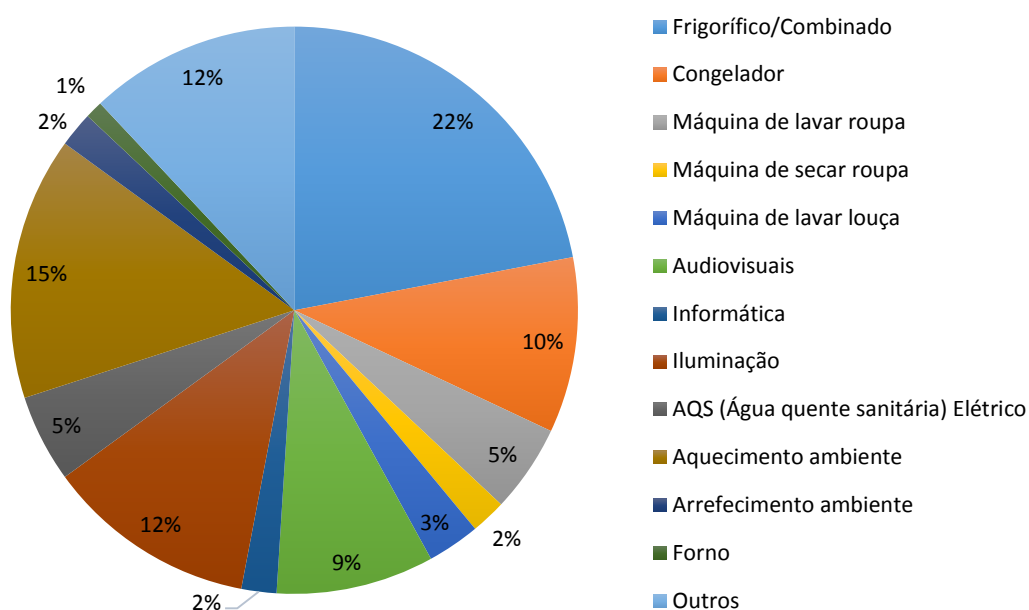


Figura 2.8 - Repartição dos consumos de eletricidade numa habitação (DECO)

Nos subcapítulos seguintes é estudado a rede elétrica de serviço público, visando medidas que podem ser aplicadas para reduzir o custo de eletricidade.

## 2.2. Rede elétrica

Em 2013 os preços de venda da eletricidade e do gás natural deixaram de ser determinados pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), passaram a ser definidos pelas empresas que operam no mercado. As empresas mais ativas, responsáveis pelo fornecimento de eletricidade, em Portugal são a EDP, Galp Energia, Endesa, Goldenenergy e Iberdrola. Os consumidores devem comparar os preços, condições dos fornecedores e escolher aquele que é mais económico.

### 2.2.1. Potência a contratar

Cada fornecedor tem preços de venda diferentes para potências diferentes, por isso a escolha da potência a contratar também influencia a economia doméstica.

A potência contratada define o máximo valor instantâneo de energia elétrica que uma instalação de consumo pode receber, quanto maior for a potência contratada, maior é a energia fornecida, portanto mais elevado será o custo por kWh. A escolha da potência depende do número, da potência dos equipamentos existentes e da forma como são utilizados, pois quanto maior o número de equipamentos utilizados em simultâneo maior será a potência a contratar.

No quadro 2.1 Encontram-se as potências consumidas em média por equipamentos eletrónicos comuns numa habitação.

Quadro 2.1 - Potências dos equipamentos eletrónicos domésticos (Fonte: ERSE)

Equipamentos	Potência (Watt)	Equipamentos	Potência (Watt)
Lâmpadas incandescentes	40	Micro-ondas	900
Lâmpadas de halógeno	35	Frigorífico	150
Lâmpadas fluorescentes	36	Arca congeladora	250
LFC	11	Ar condicionado <i>inverter</i>	1800
Máquina de lavar roupa	2000	Termoacumulador (caldeira)	1500
Máquina de secar roupa	3500	Acumulador de calor	2500
Máquina de lavar louça	2000	Televisão (convencional)	90
Forno	2400	Televisão (plasma)	300
Placa de fogão	6200	Computador	300

A potência contratada é controlada por meio de um disjuntor regulado para essa potência. Quando a soma das potências de vários aparelhos ligados ao mesmo tempo excede a potência contratada, o disjuntor interrompe automaticamente a corrente elétrica. Ao escolher uma potência mais baixa o consumidor vai estar a poupar no final do mês, contudo há que ter em consideração que, quanto menor for a potência maior vai ser a limitação de uso de certos equipamentos em simultâneo.

### 2.2.2. Tipo de tarifário

Devido ao facto de o horário de trabalho da maioria das pessoas ser coincidente, os fornecedores de eletricidade têm um pico de demanda associado a uma larga potência consumida ao mesmo tempo e um período de demanda baixa. Para diminuir este fenómeno os fornecedores criaram uma estratégia, onde os consumidores pagam mais para a energia consumida durante o período de alto consumo e menos no período de baixo consumo.

O consumidor pode optar no tipo de tarifário simples, bi-horário, e tri-horário. De modo a colocar em funcionamento os eletrodomésticos de consumo elevado para horários mais económicos. Na tarifa tri-horária o preço da energia por kWh é diferenciado de acordo com três períodos horários: horas de vazio, horas de cheias e horas de ponta.

Apesar de poder interferir com o quotidiano dos residentes, a deslocação do funcionamento de máquinas de elevado consumo para o período de tarifa mais baixa, pode gerar uma poupança elevada

na fatura elétrica. Segundo o quadro 2.2 a utilização de um equipamento em horário de vazio com a tarifa tri-horária apresenta uma poupança de 0,0797 euro/kWh em relação a tarifa simples.

Quadro 2.2 - Preço da energia, no mercado regulado, para potência > 6,9 e <20,7 KVA (2015):  
EUR/kWh (Fonte: ERSE)

	Ponta	Cheia	Vazio
Tarifa simples	0,1775		
Tarifa bi-horária	0,0978		0,1994
Tarifa tri-horária	0,3220	0,1720	0,0978

### 2.2.3. Ciclos energéticos semanais e diário

Tal como hábitos dos habitantes, os períodos de cheio, ponta e vazio variam ao longo do ano, dividindo-se em período de verão e período de inverno. Esta divisão coincide com a hora legal definida por decreto-lei. Os meses de inverno começam no último domingo de outubro e acabam no último sábado de março, possuindo o seguinte ciclo semanal:

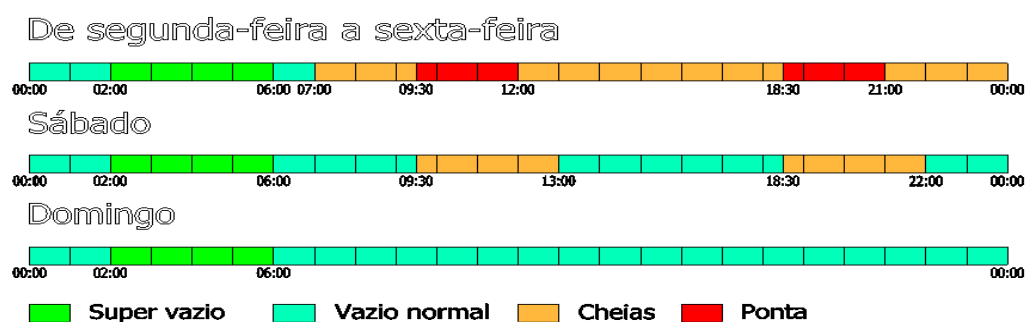


Figura 2.9 - Ciclo semanal para períodos de inverno

O ciclo semanal de inverno tem 76 horas de vazios por semana, sendo que de segunda a sexta-feira só existe 7 horas de vazio por dia, aos sábados o valor de vazio aumenta para 17 horas e as horas de domingo são todas de vazio.

O consumidor pode-se ainda optar por um ciclo diário. O ciclo diário não distingue dias úteis e dias não úteis e tem a seguinte repartição de períodos:



Figura 2.10 - Ciclo diário para períodos de inverno

Existem sempre 10 horas de vazio por dia. O ciclo semanal favorecerá assim, em princípio, os utilizadores com maiores necessidades de eletricidade aos fins-de-semana. O ciclo diário destinar-se-á a pessoas que têm um consumo mais homogêneo ao longo da semana.

O horário de verão começa no último domingo de março com o seguinte ciclo semanal

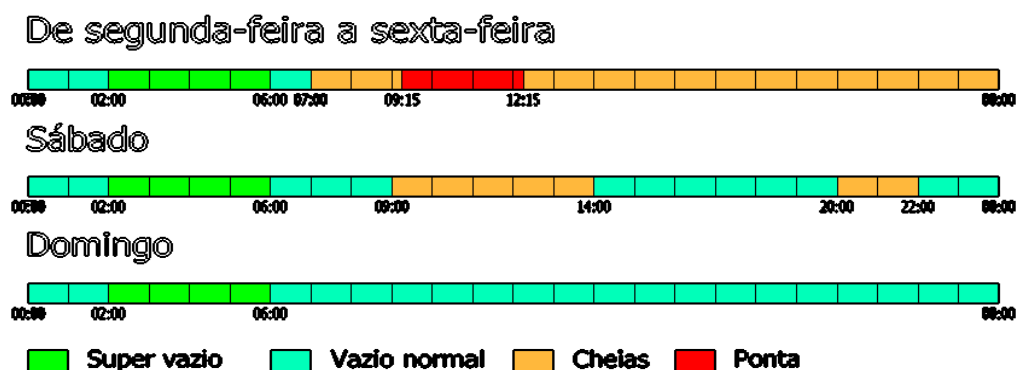


Figura 2.11 - Ciclo semanal para períodos de verão

O ciclo semanal de inverno e o do verão têm o mesmo número de horas de vazio. A diferença entre o horário de verão e de inverno reside no número de horas de ponta, o horário de verão tem 5 horas de ponta, menos uma hora que o horário de inverno.

Quanto a opção de tarifa com ciclo diário para períodos de verão, esta apresenta o mesmo número de horas de vazio, cheias e ponta dos ciclos diários de inverno.



Figura 2.12 - Ciclo diário para períodos de verão

Pode-se concluir que o ciclo semanal de verão é mais barato do que o ciclo semanal de inverno, isto pode dever-se ao facto da maioria das famílias portuguesas estarem de férias no verão, passando menos tempo em casa, diminuindo o consumo de energia proveniente da rede pública.

#### 2.2.4. Unidades de produção descentralizadas

Para garantir o cumprimento dos objetivos assumidos por Portugal no contexto das políticas europeias no combate às alterações climáticas e redução a dependência energética do país, não basta reduzir o consumo de energia, é necessário incentivar o uso de energias renováveis. Como as energias renováveis são imprevisíveis e não são tão eficientes na produção de energia como as energias fósseis, a RESP não consegue fazer face às necessidades empregando as energias renováveis, por isso é importante incentivar a produção de eletricidade descentralizada por particulares.

As unidades de produção de eletricidade descentralizadas podem ser representadas pelos seguintes esquemas:

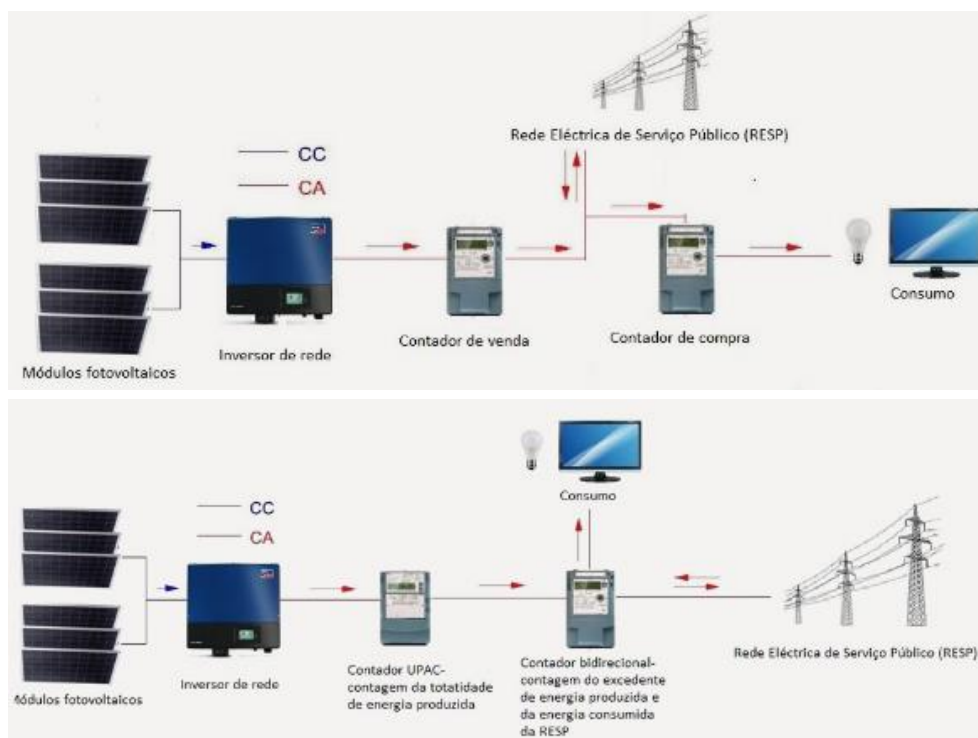


Figura 2.13 - Esquema de produção elétrica descentralizada (Fonte: técnica viçosa)

O primeiro esquema representa uma unidade de pequena produção (UPP), que vende toda a energia produzida para a rede e compra energia à rede elétrica de serviço público (RESP). O segundo esquema representa uma unidade de produção para autoconsumo (UPAC) onde o edifício consome a energia produzida in-situ, podendo vender a eletricidade excedente à rede elétrica de serviço público precisando para tal ter um contador bidirecional ou dois contadores para medir a quantidade de energia vendida e comprada.

No Decreto-Lei Nº 16/2015 de 23 de janeiro artigo 5º encontra-se estabelecido que a potência de ligação máxima permitida nas UPP é 250kW não podendo ser superior à potência contratada e os produtores têm de consumir pelo menos 50% da energia produzida. A tarifa atribuída à venda depende da categoria da unidade:

Categoria I – Existe apenas uma UPP instalada.

Categoria II – Para além da instalação de uma UPP existe consumo no local associado a carregamento de veículos elétricos

Categoria III – Para além da instalação de uma UPP existe coletores solares térmicos com um mínimo de 2m<sup>2</sup> de área útil ou caldeira a biomassa.



O preço de venda da eletricidade proveniente de energia solar é 0,095 €/kWh, 0,105€/kWh e 0,105€/kWh, respetivamente para a categoria I, II e III.

Nas UPAC o artigo N° 12 do Decreto-Lei referido anteriormente estabelece que a potência de instalada não deve ser superior a duas vezes a potência de ligação nem superior a potência contratada. A potência de ligação é a máxima potência que o produtor pode inserir na RESP.

O valor da energia elétrica fornecida à RESP, segundo o Artigo 24° Decreto-lei nº153/2014, é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (2.1)$$

Em janeiro de 2016, o valor resultante da media aritmética simples dos preços de fecho do operador do mercado ibérico de energia para Portugal ( $OMIE_m$ ) foi 0,03653€/kWh. O que resulta de venda de 0,032877€/kWh, um preço inferior ao preço de venda dos fornecedores apresentados no Quadro 2.2. Por isso é do interesse do consumidor aproveitar a energia produzida procurando o deslocamento das cargas consumidas fora das horas de produção para dentro da curva.

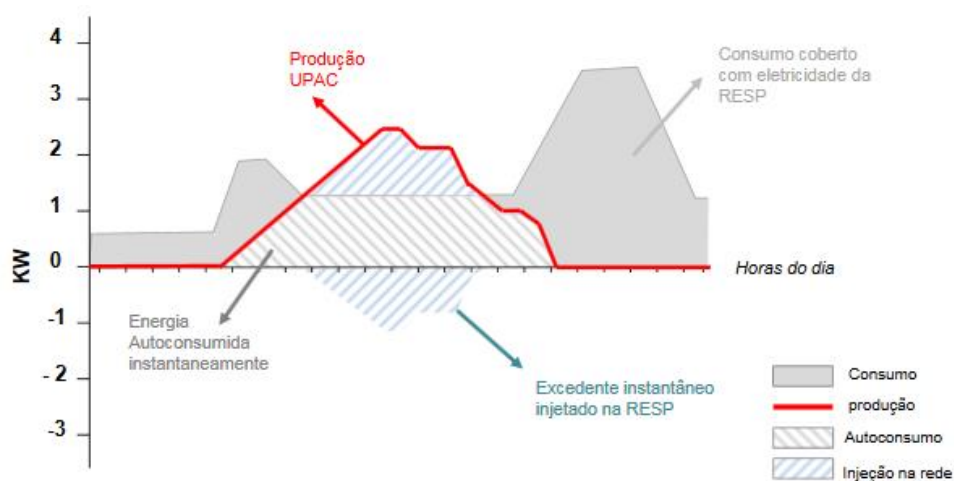


Figura 2.14 - Consumo e Produção de energia de uma unidade para produção de autoconsumo

(Fonte: Cintonâmica)

O ajusto de carga à curva de produção só pode ser conseguido monitorizando e controlando os consumos, e isto pode ser realizado através de sistemas de gestão técnica de edifícios.

## 2.3. Gestão técnica de Edifícios

Um sistema de gestão técnica (SGT) ou Building Management Systems (BMS) controla e efetua a gestão das várias instalações existentes num edifício, permite automatizar o funcionamento dos equipamentos a um nível ótimo, respeitando as necessidades de conforto de cada utilizador. Um sistema de gestão técnica bem dimensionada pode reduzir as necessidades até 24% [28].

O software que faz a monitorização de um BMS é chamado de EMS (Energy Management System). EMS faz a gestão de energia controlando equipamentos para que estes funcionem quando for necessário ou funcionem com a mínima capacidade para diminuir o pico de consumo.



A EMS pode ser entendido como um central de decisão para gestão de cargas e geração de energia. existem dois tipos de EMS [31]:

1. Gestão de cargas descentralizada – EMS recomenda novos comportamentos de cargas, contudo o comportamento de cargas é decidido pelo aplicativo de gestão do protocolo (gestor de AVAC, gestor de iluminação, ...) dependendo de parâmetros locais e condições de fronteira.
2. Gestão centralizada de cargas – EMS tem acesso direto ao atuador de carga e aumenta e diminui a carga ou desliga-a e liga-a.

16

rooftop, controlador de chiller, computadores ou servidores centrais através de cabos ou rede WIFI. Os protocolos são definidos por uma estrutura de dados que explicam a forma, o significado de cada dado e regras de comunicação. Podem ser: abertos e fechados. Os protocolos abertos foram escritos nos padrões da indústria, conhecidos publicamente e podem comunicar com outros protocolos que usam o mesmo padrão. Os protocolos fechados não são publicados ou partilhados, por isso todos os componentes do sistema devem ser concebidos e fabricados pela mesma empresa.

Existem no mercado vários tipos de protocolos, contudo o único protocolo standard utilizado para o mercado predial e residencial é o KNX. O sistema KNX utilizado é um protocolo aberto e foi desenhado de forma a poder ser instalado tanto em edifícios de grandes dimensões, como edifícios de escritórios, escolas, hospitais, fábricas e edifícios de habitação. A sua finalidade é monitorizar e controlar sistemas de iluminação, aquecimento, ventilação ou ar condicionado. A utilização do sistema KNX pressupõe a utilização de duas redes distintas:

1. Uma rede de potência, para a distribuição de energia e alimentação dos recetores elétricos
2. Uma rede de comando, para a transmissão de informação e ordens de comando (BUS)

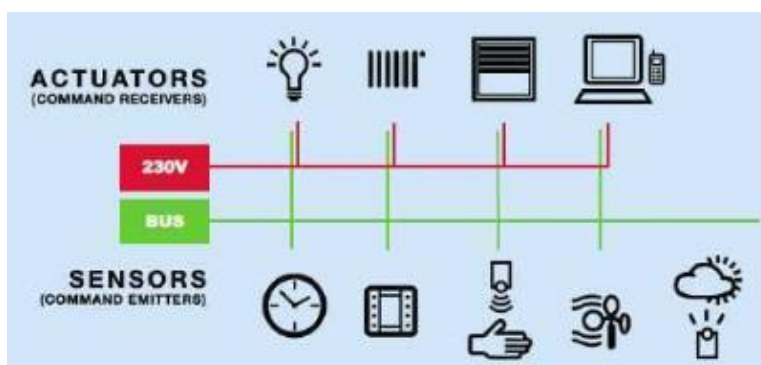


Figura 2.16 - Representação esquemática de sistemas KNX (Fonte: COURAS, Ivan)

Através de uma única linha bus, efetua-se a comunicação direta entre todos os componentes do KNX. Os produtos de entrada são sensíveis a ordens, comandos ou a medições de grandezas físicas (sensores), processam e enviam os comandos aos módulos de saída. Os produtos de saída são interfaces de potência, que escutam as informações transmitidas pelos produtos de entrada e executam as ordens (atuadores) que a eles se destinam.

Para a gestão de cargas descentralizada o KNX faz a gestão de carga utilizando o “Mode Base Load Manegement” para operar diferentes atuadores EMS em combinação com o atuador KNX, isso pode ser implementado com controle de modo prioritário DPT que contém níveis de prioridade.

Gestão de cargas centralizada podem ser utilizadas para equipamentos que não têm uma aplicação para gestão ou não suportam o controle de modo prioritário.

Uma gestão é eficaz se existir um algoritmo de controlo que implementa as funções do EMS para gerir cargas. KNX tem três opções estratégias de controlo:

1. Prediction based optimisation – Este algoritmo pode ser usado em cargas com rotina fixa. Para a utilização desta estratégia é preciso conhecer o perfil da carga do equipamento, o utilizador pode definir o período de tempo em que a carga tem de acabar o seu funcionamento.

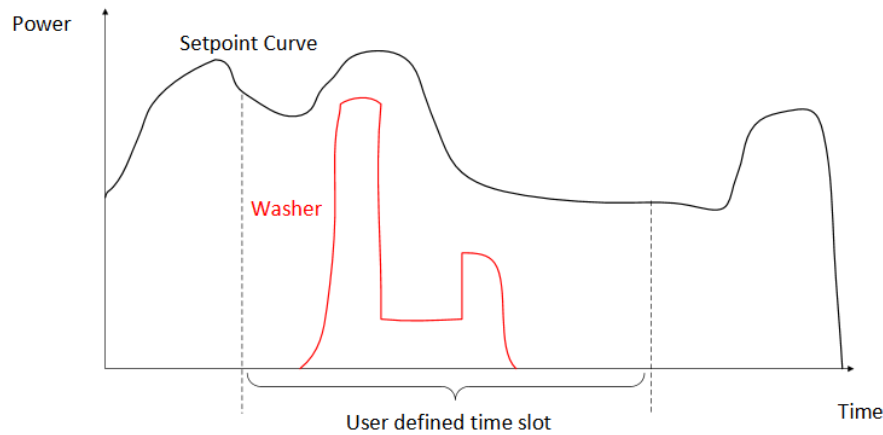


Figura 2.17 - Prediction based optimisation de uma máquina de lavar roupa (fonte: KNX)

2. Real time based optimisation – O algoritmo que pode ser utilizado para controlar um circuito aberto, circuitos sem interação entre os dados de entrada e saída. Esta estratégia é adequada a cargas que podem ser interrompidas ou ter o ponto de referência (setpoint) alterado. A otimização é feita alterando o ponto de ajuste, os novos pontos de ajuste resultam da subtração da carga total com o ponto de referência antigo.

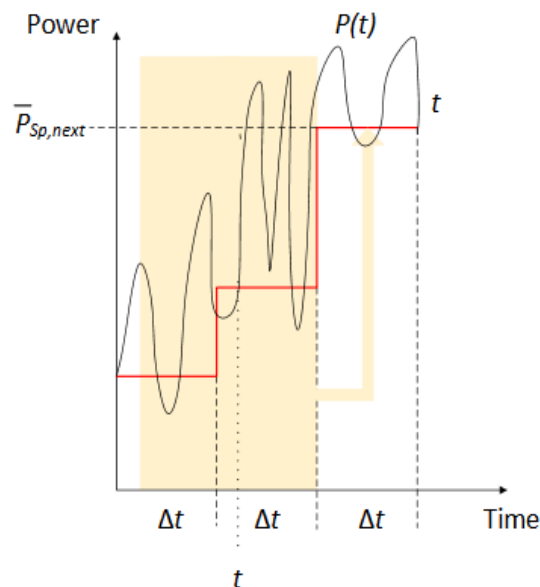


Figura 2.18 - Real time based optimisation , ajuste de "setpoint" baseado na geração de eletricidade  
(Fonte: KNX)

3. Real time control – Este método pode ser utilizado para adaptar em tempo real a carga se for dado feedback do consumo real, o controlador varia o consumo da carga até atingir o mínimo desvio do valor limite definido pelo controlador.

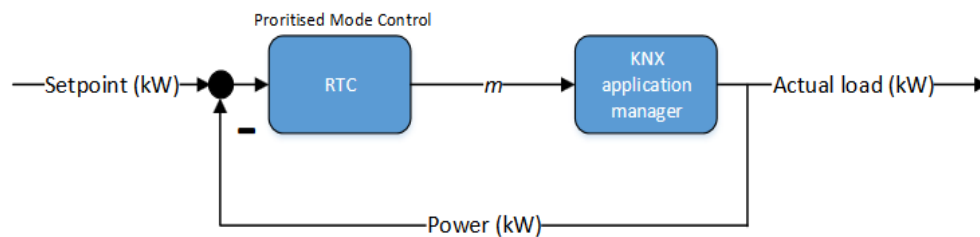


Figura 2.19 - Real time control (Fonte: KNX)

É possível agregar diferentes estratégias, mas é necessário operar as estratégias em paralelo. Para a agregação é necessário criar diferentes pontos de referência, como potência de geração, consumo total e preço de eletricidade, a gestão é feita através de uma lógica difusa (Fuzzy logic), por exemplo para a recarga de um carro elétrico a Fuzzy logic funciona da seguinte maneira:

Se geração FV = baixa e carga = baixa e tarifário = barato então carregar ecar com potência baixa

Os edifícios que utilizam este protocolo em Portugal são: Hotel Aquapura Douro Valley, Edifício Inova Gaia e Hotel Cascade Resort em Lagos [30].

Destacando o edifício InovaGaia, este é um edifício empresarial, constituído por dois pisos com 3,235m<sup>2</sup> de pavimento. Na sua conceção utilizou-se elementos, sistemas construtivos e equipamentos elétricos de baixo consumo, para diminuir as necessidades energéticas do edifício.

Para a gestão das cargas foi utilizado o protocolo EIB/KNX. o protocolo KNX controla a climatização dos escritórios, a iluminação, persianas e executa a gestão de energia elétrica de maneira a diminuir o consumo.

O controlo da iluminação é feito em função da ocupação dos espaços, com sensores de luminosidade, sensores de presença e interruptores horários. O controlo da entrada de luz natural é executado através de regulamentação de lamelas exteriores, efetuado através de um software utilizando informações da posição solar. A climatização é feita por um chiller com quatros tubos, regulado pelo protocolo em função da ocupação das salas.

Estas estratégias são utilizadas num Sistema de gestão para fornecer flexibilidade energética ao edifício, adaptando o consumo do edifício aos acontecimentos da rede. Nos capítulos seguintes recorre-se ao programa de simulação e otimização para diminuir o consumo de energia proveniente da rede.



### 3. Metodologia de estudo

O presente capítulo está dividido em cinco secções. A primeira secção apresenta o edifício utilizado para o estudo, mencionando as propriedades dos materiais e as soluções construtivas das envolventes. A secção seguinte apresenta os perfis de carga das máquinas de lavar e secar roupa, lavar loiça e forno. A terceira secção introduz o programa de simulação e os perfis de consumo obtidos através do programa de simulação energética. Na quarta secção realiza-se um estudo sobre os métodos de controlo de cargas sendo a última secção dedicada ao programa de otimização utilizado.

#### 3.1. Descrição do edifício

A arquitetura do edifício em estudo foi retirada de um exercício comum, ainda não publicada, proposto pela Agência Internacional de Energia (AIE) no âmbito da Annex 67 com objetivo de quantificar a flexibilidade energética do edifício em contextos climáticos distintos. O edifício encontra-se representado na figura 3.1, trata-se de uma moradia de tipologia T4 e apresenta a seguinte geometria:

Planta: 10,37 x 12,7

Janelas: 1.89 x 1.2 m<sup>2</sup>

Porta: 2.5 x 1.2 m<sup>2</sup>

Área de pavimento: 264 m<sup>2</sup>

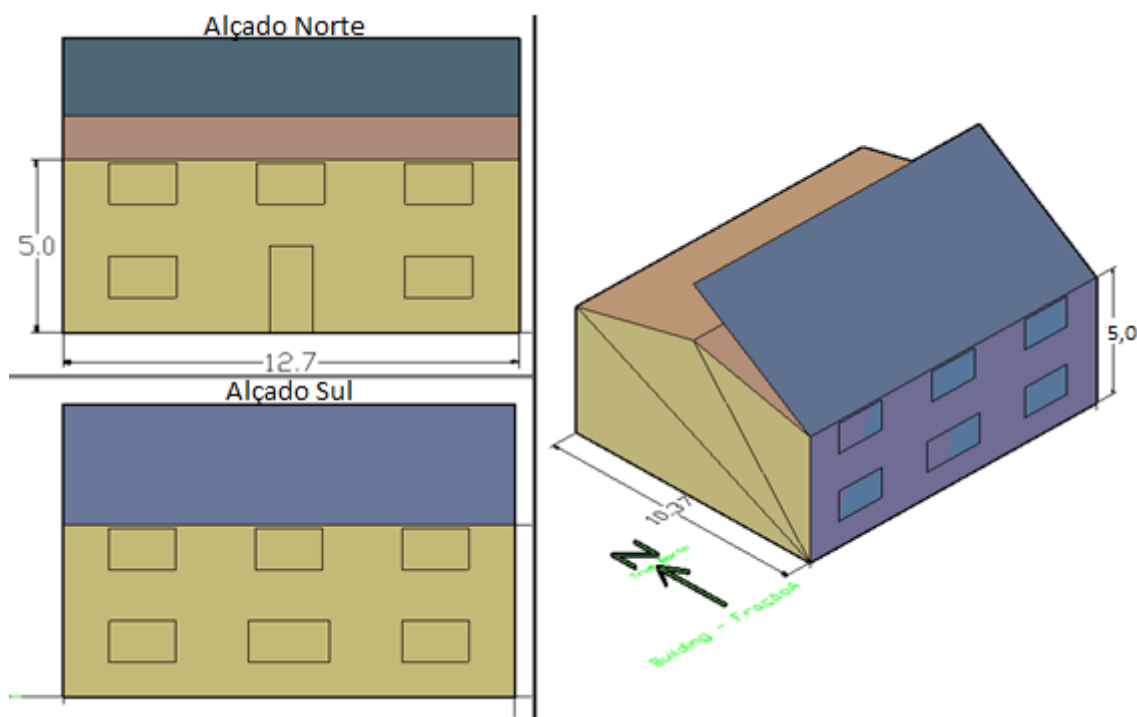


Figura 3.1 – Representação do edifício em estudo

As propriedades dos materiais constituintes da envolvente foram retiradas do relatório The Harmonisation of Thermal Properties of Building Materials [37] e são apresentadas no quadro 3.1 em conjunto com os coeficientes de transmissão térmica associados.

Quadro 3.1 - Propriedades dos materiais e coeficientes de transmissão térmica

	Material	e (m)	$\lambda$ (W/m. °C)	$\rho$ (Kg/m³)	$C_p$ (J/Kg. °K)	R (m²°C)/W	$R_T$ (m²°C)/W	U W/(m²°C)
Parede exterior	Reboco	0,02	1,3	1900	840	0,015	1,846	0,54
	Alvenaria	0,15	0,385	950	840	0,390		
	Caixa de ar	0,02	-	-	-	0,175		
	XPS	0,03	0,037	30	1400	0,811		
	Alvenaria	0,11	0,407	950	840	0,270		
	Reboco	0,02	1,3	1900	840	0,015		
Cobertura	XPS	0,04	0,037	30	1400	1,081	1,336	0,75
	Betão armado	0,2	2	2300	1900	0,100		
	Reboco	0,02	1,3	1900	840	0,015		
Pavimento	Betão	0,2	2	2300	1900	0,100	0,543	1,8
	Camada de regularização	0,05	0,5	1300	1000	0,100		
	Parquet Redif	0,02	0,14	650	1200	0,143		
porta	Madeira	0,04	0,17	649	2120	0,235	0,405	2,5
Parede interior	Reboco	0,02	1,3	1900	840	0,015	-	-
	Alvenaria	0,11	0,407	950	840	0,270		
	Reboco	0,02	1,3	1900	840	0,015		
Envidraçado	Vidro	0,006	0,9	-	-	0,007	0,353	2,8
	Caixa de ar	0,014	-	-	-	0,170		
	Vidro	0,006	0,9	-	-	0,007		

Não se considerou a existência de pontes térmicas no edifício

Em seguida apresenta-se um estudo sobre os equipamentos admitidos no edifício e os seus perfis de consumo.

## 3.2. Perfis de consumo

### 3.2.1. Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado

Os consumos dos sistemas de AVAC estão associados às cargas térmicas, pois indicam a quantidade energia que se deve retirar ou fornecer ao ambiente interior para atingir as condições de conforto necessárias. Quando não é possível garantir o conforto térmico dos moradores através de meios passivos, é admissível recorrer ao uso de sistema AVAC que por sua vez pode fazer uso de energias produzidas a partir de fontes renováveis (eletricidade) para efeitos de climatização.



No presente trabalho optou-se pela escolha de um equipamento de climatização comum no panorama nacional constituído por ar condicionado, apesar de um inquérito realizado no âmbito do projeto BUILD-UP SKILLS existir uma preferência pelo uso de aquecedores elétricos, tal como mostra a figura 3.2. A ventilação do espaço é realizada recorrendo a ventilação natural.

Equipamento	Alojamentos		Nº de Equipamentos	Equipamentos por Alojamento [2]
	nº	%		
Aquecimento de Águas				
Esquentador	2 995 810	78,6%	3 051 993	0,8
Termoacumulador	426 751	11,2%	439 724	0,1
Caldeira	455 406	11,9%	458 817	0,1
Sistema solar térmico	68 824	1,8%	68 824	0,0
Aquecimento Ambiente				
Lareira aberta	740 264	24,0%	766 581	0,2
Lareira com recuperador de calor	340 498	11,1%	346 204	0,1
Salamandra (lenha)	222 856	7,2%	226 138	0,1
Caldeira para aquecimento central por circulação de água	323 520	10,5%	340 904	0,1
Aquecedor eléctrico independente	1 884 850	61,2%	2 794 054	0,7
Aquecedor a GPL independente	218 293	7,1%	237 589	0,1
Ar Condicionado que aquece e arrefece (Bomba de calor)	223 429	7,3%	402 664	0,1
Arrefecimento Ambiente				
Aparelho individual de ar condicionado	64 099	7,2%	76 435	0,0
Ventilador (ventoinha, ventilador de parede)	615 128	69,5%	756 108	0,2
Ar Condicionado que aquece e arrefece (Bomba de calor)	230 063	26,0%	399 432	0,1

Figura 3.2 - Equipamentos para aquecimento de águas, aquecimento ambiente e arrefecimento ambiente utilizados nos alojamentos portugueses (Fonte: BUILD-UP SKILLS)

### 3.2.2. Eletrodomésticos

A variação de consumo de energia dos eletrodomésticos é uma característica intrínseca da maioria dos aparelhos de uso doméstico, tais como máquinas de lavar, secar de roupa, máquinas de lavar louça e arcas congeladoras. Os eletrodomésticos utilizados para o estudo são: máquina de lavar roupa, máquina de secar roupa, máquina de lavar loiça, frigorífico/congelador e forno.

Os perfis dos eletrodomésticos foram construídos com base no estudo recente publicado pela Virginia Tech's Advanced Research Institute [37] cujas conclusões se apresentam de seguida.

#### 1. frigorífico

O ciclo de consumo energético dos frigoríficos apresenta sempre o mesmo tipo de evolução, o arranque e a paragem do ciclo envolvem sempre variações de potência, uma vez que se referem ao ligar e desligar de um motor elétrico que atua no compressor do frigorífico. O que varia no ciclo do frigorífico

é a sua duração. Esta prolonga-se durante o tempo suficiente para que a temperatura no interior do frigorífico atinja o valor regulado pelo termóstato.

O ciclo de descongelação consiste num ciclo diferente do da refrigeração em que as serpentinas de refrigeração são aquecidas invés de serem arrefecidas. Desta forma consegue-se eliminar na totalidade qualquer gelo que se tenha formado nas superfícies das serpentinas. Este ciclo é caracterizado por se iniciar com um ciclo de congelação bastante longo, seguido de uma fase de aquecimento por resistência, com potência superior à utilizada na congelação. Para poder realizar o aquecimento das serpentinas sem comprometer a conservação das temperaturas baixas no seu interior, o frigorífico realiza um ciclo normal de descongelação mais extenso de forma a baixar a temperatura um pouco abaixo do normal. Seguidamente segue-se uma fase em que as serpentinas são atuadas por uma resistência elétrica que as aquece, derretendo assim o gelo que possa existir em seu redor. Por fim, acontece outro ciclo normal de refrigeração para restabelecer a temperatura normal.

O modelo de refrigeração utilizado no estudo é designado por Maytag MSD2641KEWe contempla um consumo de eletricidade durante o período ligado de cerca de 145 watts e um consumo de 2,7 watts em ciclo desligado. Sem a abertura de portas, a duração do período ON (compressor ligado) é 20 minutos e a do OFF é de 25 minutos.

Existe uma lâmpada incandescente de 45 watt dentro do congelador e duas lâmpadas de 45 watts dentro do frigorífico, consequentemente o consumo aumenta 45 watt quando a porta do congelador se abre e 90 watt quando a porta do frigorífico é aberto.

Um ciclo de fazer gelo ocorre por volta das 20:30 horas e faz aumentar o consumo cerca de 200-250 watts. Um ciclo de descongelamento por volta das 22:30 horas faz com que o consumo de eletricidade atinja 500 watts e tem duração de 13 minutos. O ciclo de descongelamento é seguido por uma longa operação de refrigeração com duração de 50 minutos.

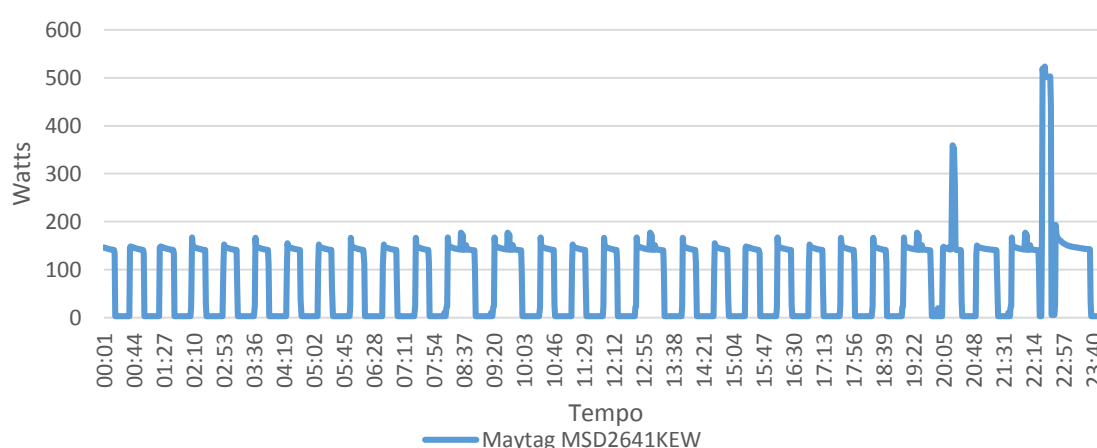


Figura 3.3 - Consumo diário do combinado

## 2. Máquina de lavar roupa

Nas máquinas de lavar roupa a eletricidade é necessária para realizar ações mecânicas (rotação do tambor, enxaguamento, bombas de circulação de água) e ação térmica, para aquecimento de água

através de uma resistência elétrica. Atualmente existem máquinas bitérmicas que possuem duas entradas de água, uma para água fria e outra para água quente, como a máquina utilizada para a realização do perfil de consumo, o que permite aproveitar a água quente proveniente da utilização de painéis solares ou bombas de calor, diminuindo assim as necessidades de consumo de eletricidade para o aquecimento de água. O uso deste tipo de máquina não é muito comum em Portugal, utilizou-se para o estudo porque, não foi possível encontrar perfis de consumo de máquinas que recorrem a resistência térmica para aquecer a água utilizada para a lavagem.

O ciclo de lavagem começa pelo enchimento do tambor com água, com o encher do tambor este começa a rodar, pode ser visto que durante os primeiros minutos de operação que o consumo é baixo começando a aumentar, devido ao aumento da carga do motor causado pelo incremento do nível de água no tambor. As variações de velocidade do motor são observadas durante o ciclo de lavagem, durante o qual a máquina consome 14-220 watts. Com base em vários períodos de lavagem, a potência de pico durante o ciclo da lavagem varia de 150 W para 350 W, dependendo do tamanho da carga de roupa.

O ciclo de lavagem é seguido por um ciclo de enxaguamento que consome 45-76 watts. O último ciclo é o de centrifugação, durante o qual a máquina consome 190-280 Watts.

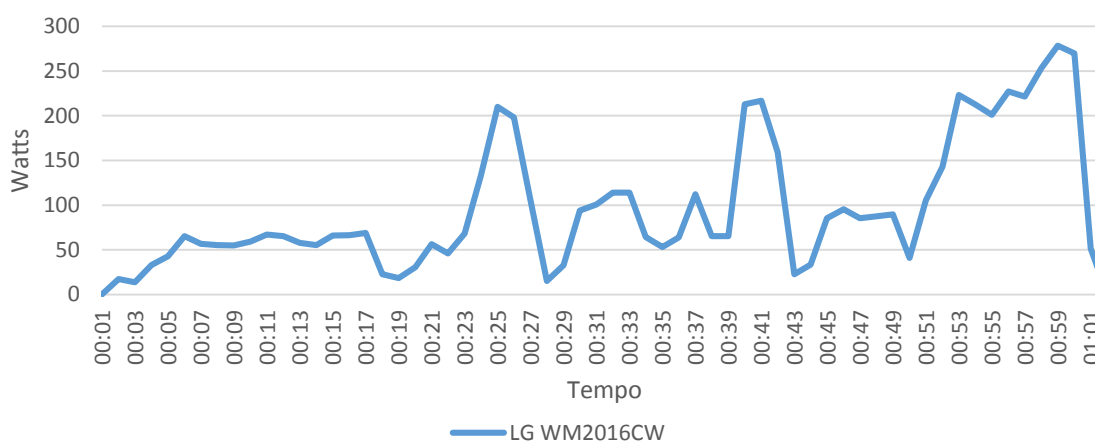


Figura 3.4 - Consumo por ciclo da máquina de lavar roupa

### 3. Máquina de secar roupa

O processo de secagem é conseguido através do aquecimento do ar exterior, utilizando-o para retirar humidade da roupa lavada, secando assim a roupa. Para aquecer o ar é necessário o consumo de muita energia.

O perfil mostra que o primeiro ciclo de secagem é sempre o mais longo e é seguido por vários ciclos de ON/OFF dependendo da carga da roupa, isso acontece porque, numa máquina típica de secar roupa existe um sistema automático de controlo de secagem, que deteta a temperatura do ar no tambor. Em todas secagens, o tambor seca sem utilizar calor nos últimos dez minutos.

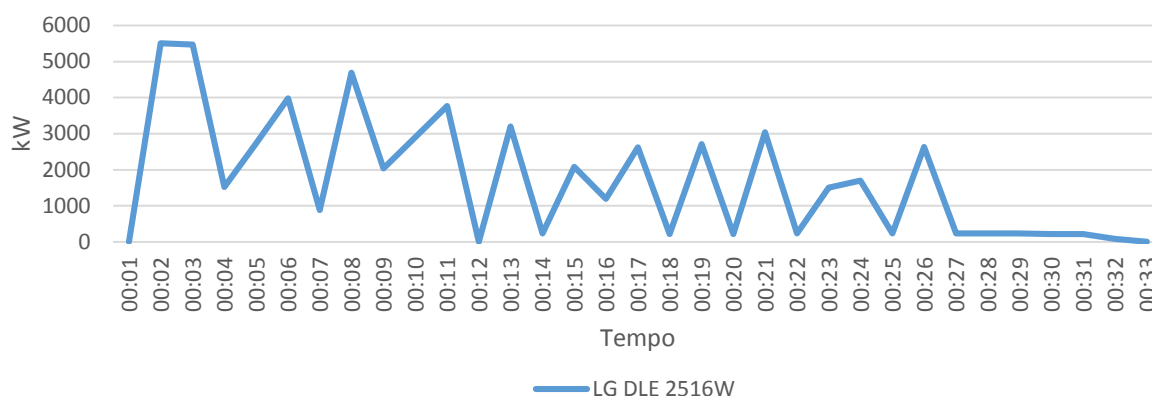


Figura 3.5 - Consumo por ciclo da máquina de secar roupa

#### 4. Máquina de lavar louça

A máquina de lavar louça também é uns dos eletrodomésticos que mais eletricidade consome numa habitação, devido a sua necessidade de utilização de uma resistência elétrica para aquecer a água durante o ciclo de funcionamento. As máquinas de lavar funcionam em três fases: lavagem, enxaguamento e secagem. Nesta máquina os primeiros 50 minutos estão associados ao ciclo de lavagem, o ciclo de enxagua começa a partir dos 50 minutos dura até aos 80 minutos e nos restantes minutos ocorre o ciclo de secagem.

Os primeiros dez minutos de funcionamento, durante o ciclo de lavagem, pertence a fase de pré-lavagem. A fase de pré-lavagem envolve o enchimento do tanque com água e disparos de água através de jatos, para obter pratos limpos, nesta fase a máquina consome entre 250-300 watts. Em seguida, o ciclo de lavagem começa com o aquecimento da água, pelos elementos de aquecimento dentro da máquina de lavar louça, até que a temperatura da água chegue a temperatura adequada, neste caso 46°C, durante o aquecimento da água, a máquina consome cerca de 1180 watts. Em seguida, a água quente é pulverizada para limpar os pratos. Uma serie de pausas durante o ciclo de lavagem são observadas. A máquina depois drena a água suja, consumindo cerca de 36-44 watts. O ciclo enxaguamento, que se segue, começa com o aquecimento da água a uma temperatura adequada, para esta máquina de lavar é 57°C, depois os pulverizadores de água da máquina enxaguam a louça, a água é então drenada. O ciclo de secagem começa e durante o ciclo de secagem a máquina consome cerca de 600 watts.

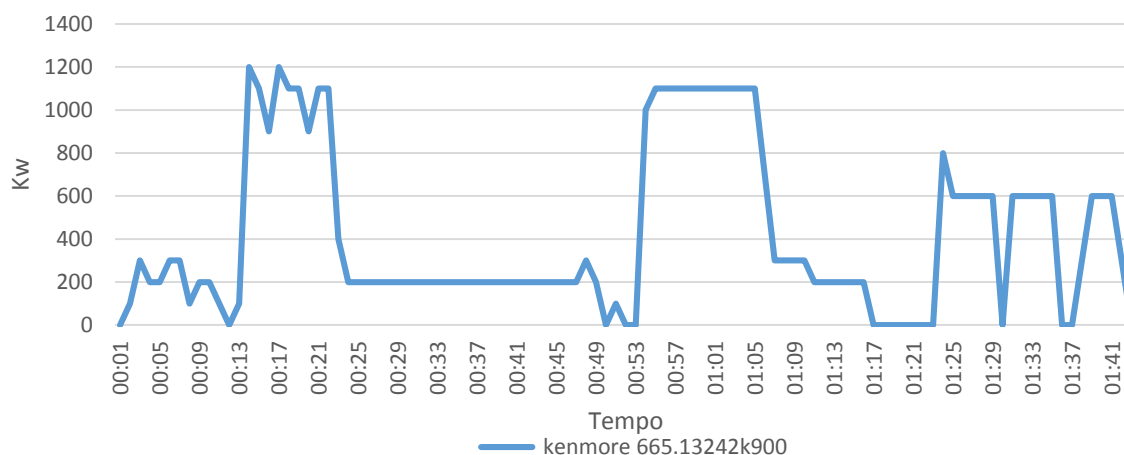


Figura 3.6 - Consumo por ciclo da máquina de lavar louça

## 5. Forno elétrico

O modelo de forno em estudo é Kenmore 7909131 2013. No modo assar, o forno consome 2,8 kW, nota-se que existem períodos breves de incremento de 400 W durante o funcionamento, devido a operação de um interruptor térmico. A temperatura foi fixada em 232°C e levou cerca de 19 minutos para o forno atingir esta temperatura, após atingir a temperatura o forno opera ciclos de ON/OFF até ser desligado.

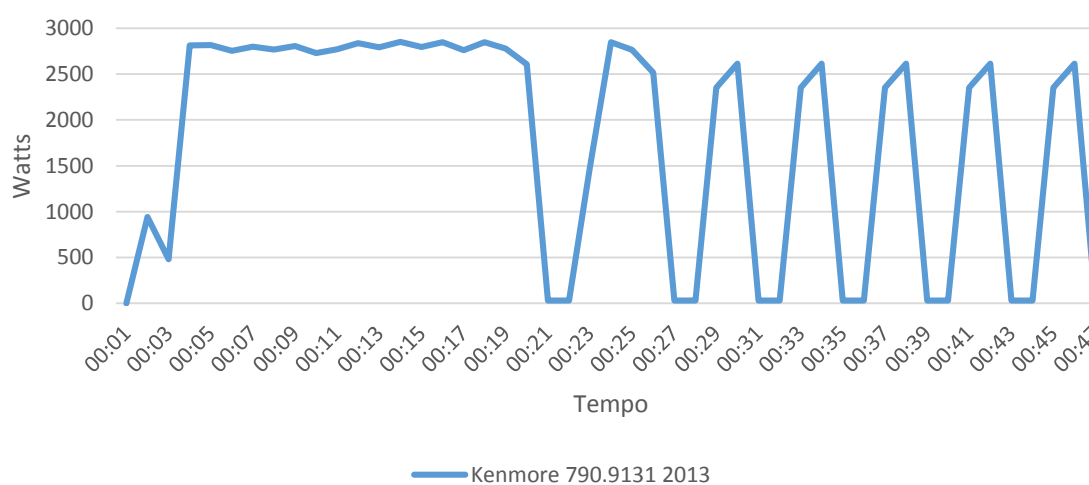


Figura 3.7 - Consumo por ciclo do forno

## 6. Iluminação

A iluminação é uma carga não controlável, pelo que não é necessário saber exatamente a variação do consumo ao longo do tempo numa habitação, além disso esta informação depende de vários fatores, tais como: dimensão da casa, que ditará a quantidade de lâmpadas necessárias, hábitos dos habitantes, condições climáticas. Contudo é preciso saber mais ou menos o consumo destas para o cálculo do consumo doméstico total.

Segundo o inquérito ao consumo de energia no setor doméstico realizado em 2010, em termos médios, cada alojamento português está a utilizar 9 lâmpadas incandescentes. Tendo em consideração este valor, para a realização desta dissertação considerou-se a existência de 10 lâmpadas LED na moradia em estudo.

O horário da iluminação implementado no programa foi baseado na curva de carga horária, figura 3.8, retirada do programa EURECO. No programa EURECO, concluído em março de 2002, elaborou-se uma campanha de monitorização dos consumos elétricos em 400 unidades de alojamento na União Europeia, foi um projeto do programa SAVE, com parceira nacional da EDP e ERSE. A Nível nacional, foram monitorizadas utilizações de eletricidade em 100 unidades de alojamento durante 1 mês

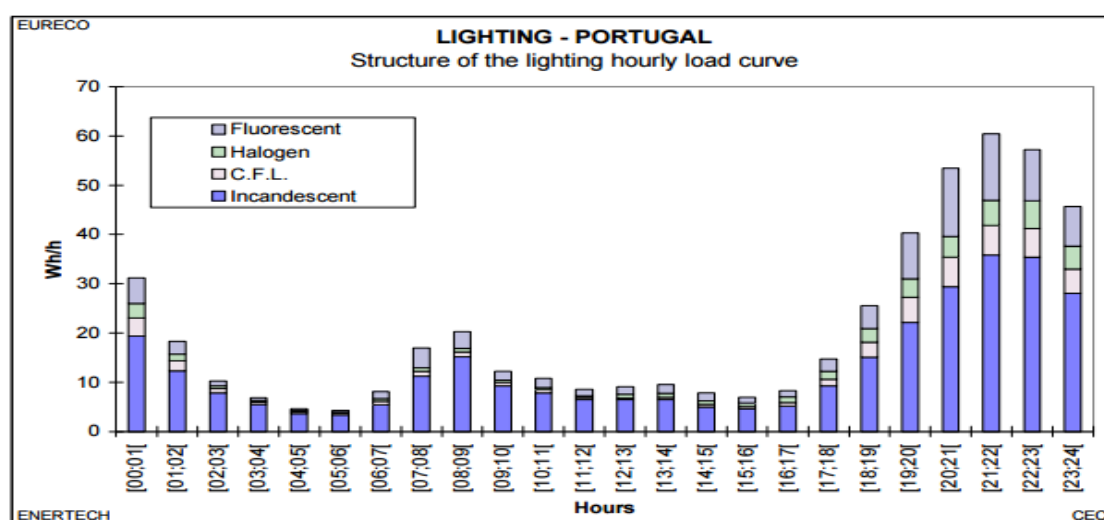


Figura 3.8 - Curva de carga horaria da iluminação em Portugal (Fonte: Project EURECO)

A potência da lâmpada LED utilizada é 15W, no período máximo todas as lâmpadas encontram-se ligadas resultando num consumo de 150 watts, e o consumo mínimo é 30 watts e acontece das 02:01 às 07:00 e das 10:01 às 18:00 horas.

Quadro 3.2 - Horário diário do consumo na iluminação

Hora	Watts	Hora	Watts
00:01-01:00	90	10:01-18:00	30
01:01-02:00	60	18:01-19:00	60
02:01-07:00	30	19:01-20:00	90
07:01-08:00	45	20:01-21:00	105
08:01-09:00	60	21:01-23:00	150
09:01-10:00	45	23:01-00:00	105

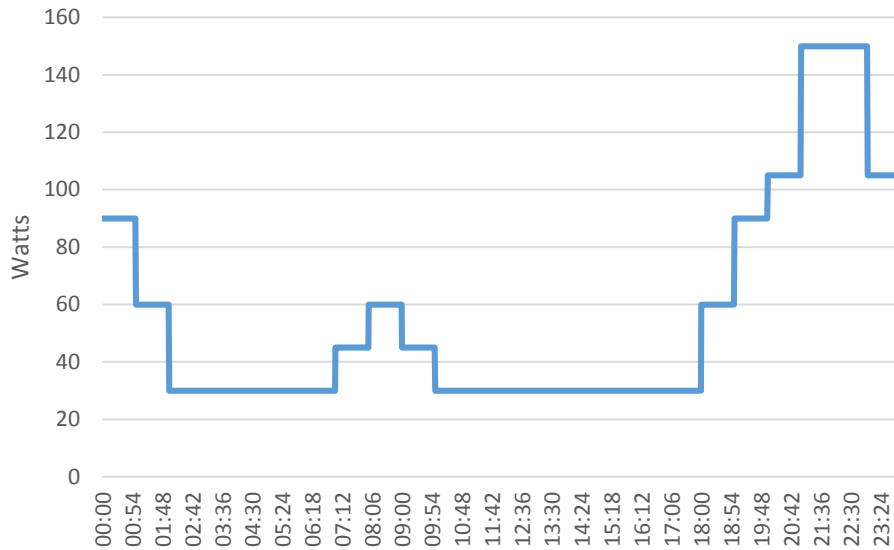


Figura 3.9 - Consumo diário da iluminação

## 7. Águas quentes sanitárias

Existem dois tipos de aquecimento de AQS, os sistemas instantâneos (os esquentadores a gás, elétricos e as caldeiras murais) e os sistemas de acumulação (caldeiras, bomba de calor, os termoacumuladores de resistência elétrica e ainda os painéis solares).

Os sistemas instantâneos fazem o aquecimento no momento em que se inicia o consumo, consomem muita energia no aquecimento da água e são muito limitados no abastecimento de dois pontos em simultâneo. Apesar das desvantagens, os sistemas instantâneos continuam a ser os mais utilizados na produção de água quente em Portugal.

Os sistemas de acumulação têm um depósito que contém água aquecida, o aquecimento pode ser feito pela queima de um gás, por uma resistência elétrica imersa na água ou por uma bomba. Em todos os casos, a fonte de aquecimento começa a funcionar se a temperatura da água no depósito for inferior à temperatura definida no termostato. Quando a água quente sai, entra água fria no depósito que será aquecida para atingir a temperatura definida.

Para o dimensionamento do consumo foi utilizado um termoacumulador fabricado pela Fagor. O consumo do termoacumulador é determinado pelo EnergyPlus através da equação de equilíbrio energético no dispositivo de água. Para o cálculo da quantidade de água quente fornecida pelo termoacumulador, admitiu-se que a água quente é utilizada para os duches e para a lavagem de roupa. Para calcular a quantidade de água quente utilizada pela máquina de lavar roupa em cada lavagem, recorreu-se à fórmula usada por Lutz et al [48]. para estimar a percentagem de água fria e quente:

$$T_{warm} = T_{hot} * x + T_{cold} * (1 - x) \quad (3.1)$$

Para matar as bactérias que podem existir na água os fabricantes recomendam que a água esteja a 60°C. Quanto a temperatura da água fria fornecida pela entidade reguladora, esta varia ao longo do ano. Para o dimensionamento considerou-se que no inverno está a 7 °C e no verão está a 12°C, de acordo com a Net Geen Developments [41]. O fabricante recomenda uma temperatura de lavagem de 40°C para a maioria das cargas. A utilização destes valores resulta de uma fração de água quente de 0,6226 e 0,5833 para o dia de inverno e verão, respetivamente:

$$\begin{cases} 40 = 60 * x + 7 * (1 - x) \rightarrow x_{inverno} = 0,6226 \\ 40 = 60 * x + 12 * (1 - x) \rightarrow x_{verão} = 0,5833 \end{cases} \quad (3.2)$$

Com a fração de água quente encontrada é possível fazer uma aproximação da quantidade de água quente utilizada pela máquina durante o funcionamento:

$$Use_{load} = V_{load} * x \quad (3.3)$$

Onde:

$Use_{load}$  – Quantidade de água quente utilizado em cada lavagem (m³/s);

$V_{load}$  – Quantidade total de água utilizado em cada lavagem.

Segundo o portal do projeto EcoCasa [42] uma máquina de lavar roupa pode consumir entre 37 e 77 litros de água por lavagem, mas pode-se admitir um valor médio de 45 litros, resultando nos seguintes consumos por lavagem:

$$\begin{cases} 45 * 0,6226 = 28,0189 \text{ ( litro/lavagem)} \\ 45 * 0,5833 = 26,25 \text{ ( litro/lavagem)} \end{cases} \quad (3.4)$$

O fluxo de água é introduzido no EnergyPlus em termos de caudal volúmico (em metros cúbicos por segundo). Admitindo que o fluxo é constante, o que não se verifica na realidade, foi determinada a quantidade de litros de água que sai do termoacumulador em cada segundo. Como o ciclo de lavagem e enxague demora 50 minutos, o fluxo de água quente vai ser:

$$\begin{cases} Use_{load inverno}(m^3/s) = \frac{28,0189}{50*60} * 0,001 = 9,3396 * 10^{-6} \\ Use_{load verão}(m^3/s) = \frac{26,25}{50*60} * 0,001 = 8,75 * 10^{-6} \end{cases} \quad (3.5)$$

Em relação ao duche, segundo a IBERDROLA [45] uma temperatura de 30°C é suficiente para que o banho seja confortável, resultando nas seguintes frações de água quente:

$$\begin{cases} 30 = 60 * x + 7 * (1 - x) \rightarrow x_{inverno} = 0,434 \\ 30 = 60 * x + 12 * (1 - x) \rightarrow x_{verão} = 0,375 \end{cases} \quad (3.6)$$

O fluxo de água depende do sistema de aquecimento de água, mas em média pode consumir 13 litros por minuto. Sabendo que em Portugal os duchas demoram em média 10 minutos [46], é possível calcular a quantidade de litros que sai do termoacumulador para os duches:



$$\begin{cases} Use_{duche inverno}(m^3/s) = \frac{13*0,434}{60} * 0,001 = 9,4025 * 10^{-5} \\ Use_{duche verão}(m^3/s) = \frac{13*0,375}{60} * 0,001 = 8,125 * 10^{-5} \end{cases} \quad (3.7)$$

Como admitiu-se a existência de 5 pessoas nesta habitação (T4), considerou-se que 3 pessoas tomam duche de manhã (08:00) e os restantes habitantes iniciam o seu banho às 22horas. O consumo de água diário tanto no inverno como no verão (respetivamente  $0,31m^3$  e  $0,27m^3$ ) é superior ao consumo diário de referência, disposto no DR N° 234/2013, que foi utilizado para a escolha da capacidade do termoacumulador (200 litros), o que resulta da necessidade de efetuar o aquecimento da água pelo menos duas vez ao dia.

O perfil de consumo de eletricidade do termoacumulador está na figura 3.13 e 3.14 e é um dos outputs do EnergyPlus solicitados, para a construção deste ciclo considerou-se que o consumo do termoacumulador acompanha o perfil de saída da água.

### 3.3. EnergyPlus

O EnergyPlus é um programa criado pelo departamento de energia dos Estados Unidos, desenvolvido para a simulação de cargas térmicas e para a análise energética de edificações e seus sistemas. O programa proporciona várias opções de intervalos de tempo de simulação, cálculo de infiltração de ar diferenciado para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas (fotovoltaico, aquecimento solar...). Com base nas características geométricas e construtivas do edifício e das condições climáticas do local, onde se encontra o edifício implementado, possui a capacidade de estimar ao longo do tempo, os ganhos solares através dos envidraçados, trocas de calor por condução e convecção, temperaturas do ar interior e das superfícies dos elementos construtivos, necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento para a manter a temperatura interior definida pelo utilizador.

Para a simulação o programa assume que dentro de uma zona não existe diferenciais de temperatura, todos os elementos de uma superfície estão a mesma temperatura, a condução de calor é unidirecional e a emissividade das superfícies é igual para todos os comprimentos de onda. As condições climáticas (temperatura do ar exterior, radiação solar, velocidade e direção do vento e humidade relativa do ar) são obtidas por um ficheiro disponível no site do departamento de energia dos Estados Unidos. Depois de concluída a simulação o programa gera um ficheiro que pode ser transformado em folha de cálculo e trabalhado pelo utilizador para produzir gráficos ou outras análises de interesse para o estudo.

No caso em estudo optou-se por localizar o edifício em três locais diferentes com o intuito de investigar a influência da localização na produção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos e na gestão dos consumos, os locais escolhidos são: Faro, Lisboa, Porto.

A estrutura de funcionamento do EnergyPlus pode ser ilustrada pela figura 3.10 [49]

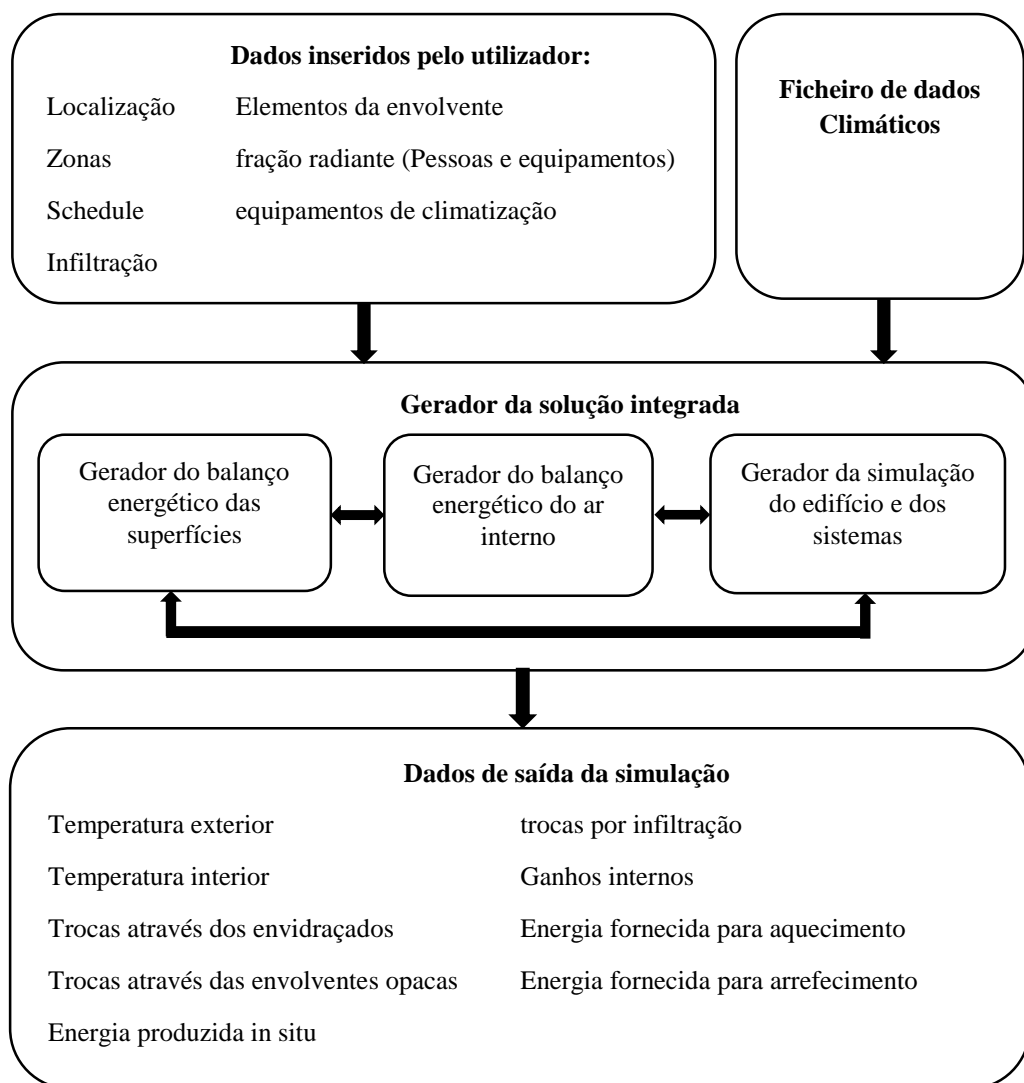


Figura 3.10 - Diagrama do funcionamento do programa EnergyPlus (Fonte: FERREIRA, Rute)

### 3.3.1. Simulação energética do edifício

O edifício foi implementado no EnergyPlus alinhado com o Norte, e o tipo de terreno utilizado foi *ocean* porque todos os locais em estudo pertencem a zonas costeiras.

Para os cálculos do sombreamento, iluminação natural e produção de energia solar admitiu-se que a trajetória do sol muda em média a cada 20 dias.

O horário de consumo por minuto de cada equipamento elétrico considerado, foi implementado no grupo *Schedule* assim como o horário do termóstato presente no aparelho de climatização e a ocupação do edifício. Os horários de funcionamento dos equipamentos elétricos iniciais foram elaborados tendo em consideração o diagrama de carga de um consumidor equivalente ao diagrama médio fornecido pela EDP, que se apresenta na figura seguinte:

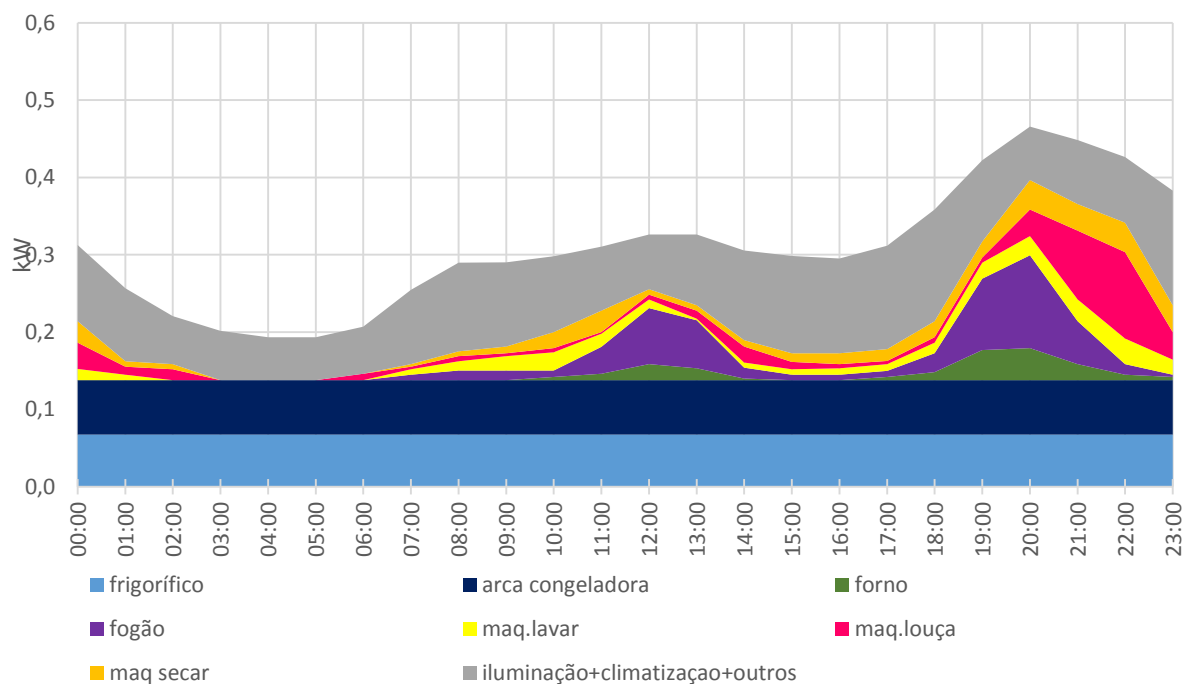


Figura 3.11 - Diagrama dum consumidor equivalente ao diagrama médio dos dias úteis

Como o diagrama anterior diz respeito a valores médios (não representa nenhum consumidor em particular), considerou-se que os equipamentos funcionam sempre o consumo seja superior a 70% do valor máximo indicado pelo diagrama anterior.

O frigorífico funciona 24 horas por dia com o consumo diário referido na secção 3.2.2. O funcionamento da máquina de lavar louça começa às 11:46 horas e acaba às 13:26, com duração de 1 hora e 40 minutos, e volta a funcionar novamente às 19:46 horas até às 21:26 horas. A máquina de lavar roupa trabalha somente entre as 19:03 e 20:02. A máquina de secar roupa trabalha, somente na época de aquecimento, das 19:59 às 20:29. O forno entra em funcionamento duas vezes por dia, das 11:48 às 12:16 horas e a durante a tarde das 19:48h às 20:31, como indica a figura 3.12.

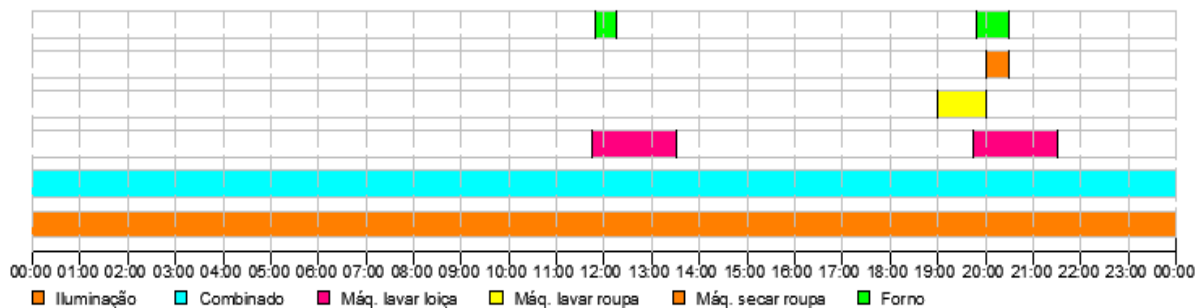


Figura 3.12 - Síntese do funcionamento diário dos equipamentos elétricos domésticos

No grupo *Schedule* também se introduziu o horário sempre 18 e sempre 25, que têm como finalidade impor a temperatura do ar interior da zona à 18°C na época de aquecimento e 25°C na época de arrefecimento, como está regulamentado. O horário referente à iluminação é introduzido neste objeto juntamente com os horários sempre ON e sempre OFF, que servem para controlar o tempo de funcionamento dos equipamentos de AVAC.

Devido às normas impostas para a taxa de renovação de ar há necessidade de criar dois horários para a ventilação, sendo um para a época de aquecimento (0.4h<sup>-1</sup>) e outro para a época de arrefecimento (0.6h<sup>-1</sup>).

Para simular as necessidades energéticas para o aquecimento de água é preciso definir os horários de entrada de água fria no depósito, da temperatura da água de entrada e a temperatura do termóstato do termoacumulador ao longo de um ano.

O horário para o nível de ocupação e atividade que servem para determinar os ganhos de calor também foram introduzidos. Considerou-se que entre as 24:00 e 07:00 todas as pessoas estão na habitação em repouso, que corresponde a um nível de atividade 72. Das 09:00 às 12:00 não há ocupantes na habitação, das 12:00 às 14:00 25% dos moradores estão em casa a realizar atividades sentados e relaxados com nível de atividade de 126. Entre às 14:00 e às 17:00 não está ninguém na zona e das 17:00 às 24:00 50% dos habitantes estão em casa andando constantemente na habitação com nível de atividade 180.

Para simular as necessidades para a climatização utilizou-se um ar condicionado com bobinas de DX, através do objeto *HVACTemplate:Zone:PTAC*. O consumo dos sistemas AVAC varia com o tempo pois depende de fatores como a temperatura externa, número de pessoas, radiação solar, ventilação e calor associado ao funcionamento dos eletrodomésticos que variam ao longo do dia. O programa de simulação calcula a energia necessária para garantir as condições de conforto através da equação do equilíbrio térmico:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{si} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (3.8)$$

Onde:

$C_z \frac{dT_z}{dt}$  - Energia armazenada no ar da zona z;

$\sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i$  - Soma das trocas por convecção devido a fontes internas;

$\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$  - Soma das trocas de calor por convecção com cada uma das superfícies que delimita a zona;

$\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{si} - T_z)$  - Soma das trocas de calor devido à mistura de ar da zona em causa e da zona i;

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$  - Transferência de calor devido à renovação de ar;

$\dot{Q}_{sys}$  - Energia dos sistemas de climatização.

A simulação das necessidades do termoacumulador foi realizada no objeto *WaterHeater:Mixed*. A energia necessária para o aquecimento de água é calculada a partir de uma equação diferencial que rege o equilíbrio térmico do tanque de água em regime variável. O consumo de eletricidade varia entre a mínima e a máxima potência, a resistência fica ligada até estabelecer a temperatura da água no depósito definida. Utilizou-se as características do termoacumulador RB-200 eco da Fagor para modelar o depósito de água quente. A capacidade do depósito de água é 200 litros porque o edifício em estudo tem 5 moradores. Os perfis de consumo do termoacumulador obtido pelo programa são os seguintes:

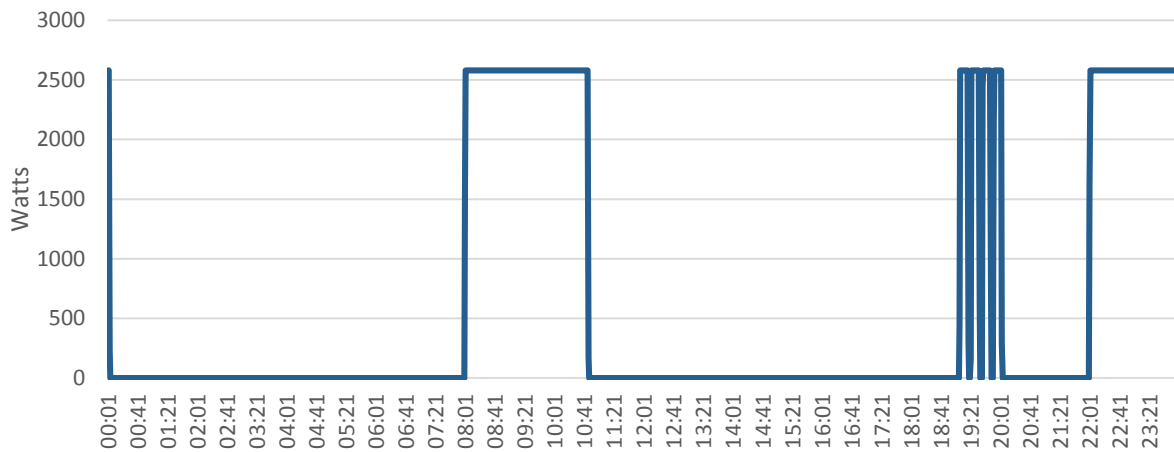


Figura 3.13 - Perfil de consumo na época de aquecimento

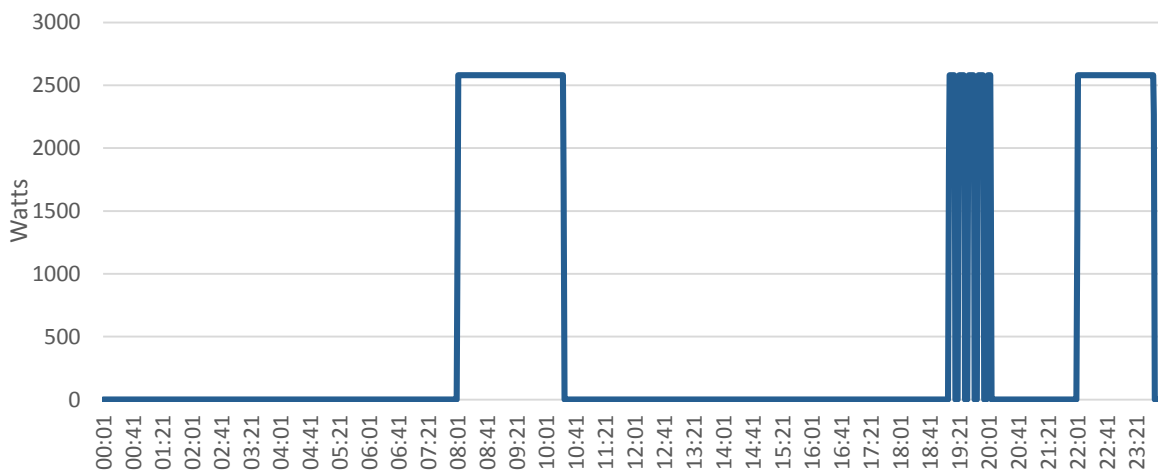


Figura 3.14 - Perfil de consumo na época de arrefecimento

Utilizando o ficheiro climático de Faro obteve-se os seguintes gráficos de consumo de eletricidade diário para o dia de inverno e verão, respetivamente:

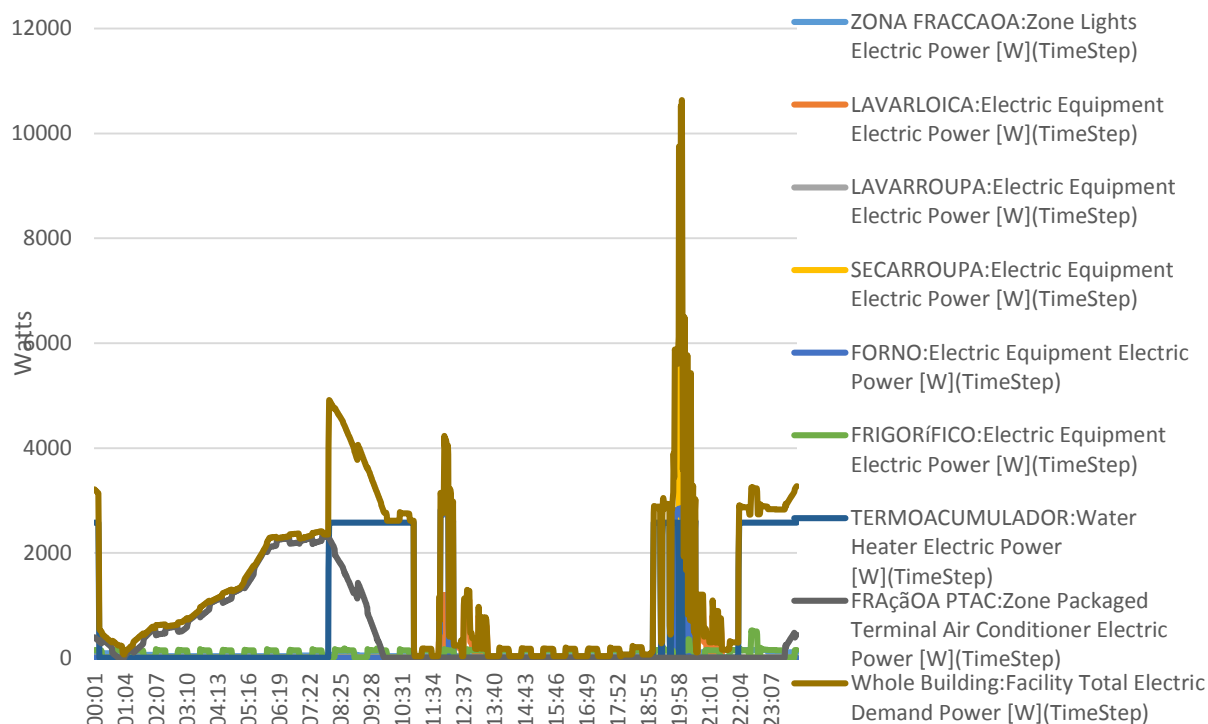


Figura 3.15 - Carga diária padrão para a época de aquecimento

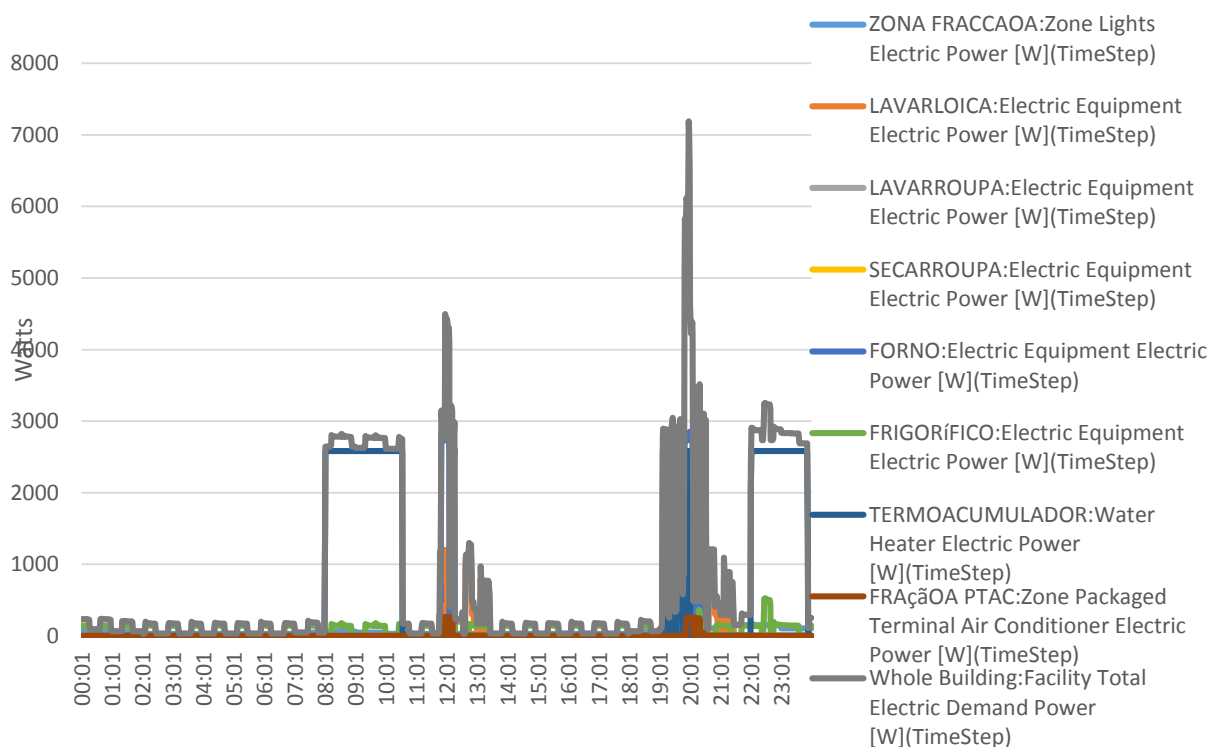


Figura 3.16 - Carga diária padrão para a época de arrefecimento

No quadro 3.3 encontra-se informações relativas ao consumo de cada equipamento nas épocas climáticas do ano e a repartição dos consumos.

Quadro 3.3 - Consumo total diário para a arrefecimento e arrefecimento

	Consumo diário Watts								
	Iluminação	Máq. Lavar loiça	Máq. Lavar roupa	Máq. Secar roupa	Forno	Frigorífico	Termoacumulador	HVAC	Total
Aquecimento	81 000	85 200	5 943	56 500	147 091	115 784	910 154	671 476	2 073 149
	4%	4%	0%	3%	7%	6%	44%	32%	100%
Arrefecimento	81 000	85 200	5 943	0	147 091	115 784	792 440	7 442	1 234 900
	7%	7%	0%	0%	12%	9%	64%	1%	100%

Pode-se observar pela figura 3.15 e 3.16 que o pico da carga diária na época de aquecimento é menor que o pico na época de arrefecimento, contudo constata-se pelo quadro 3.3 que o consumo diário na época de aquecimento é bastante maior.

### 3.3.2. Produção elétrica

Neste capítulo pretende-se estudar a área de painéis solares necessária para satisfazer as necessidades energéticas e a influência da localização do edifício na produção. Contudo, a produção de eletricidade não depende só da área do painel fotovoltaico, como também de fatores como a orientação dos painéis, a existência de obstáculos à incidência solar, a localização do edifício, fatores meteorológicos, etc.

Em Portugal é prática comum a colocação dos painéis virados para o sul, porque é o quadrante com maior incidência solar ao longo do dia. Os painéis virados a sul absorvem a maior parte da energia durante a manhã e ao meio dia, no entanto o período onde existe maior procura de energia é durante a tarde, se os painéis forem colocados virados para oeste a sua produção de eletricidade irá coincidir com a procura de eletricidade, mas haverá menos produção de energia diária [49]. Como objetivo desta dissertação é aproveitar a energia produzida deslocando as cargas para o período de produção, os painéis serão simulados virados para sul.

A inclinação dos painéis fotovoltaicos também influencia muito a produção, para maximizar o aproveitamento da energia fornecida pelos raios solares, deve-se implementar os painéis solares perpendiculares aos raios solares. O facto de o sol variar de posição ao longo do dia e do ano restringe a produção de energia, para calcular o ângulo que maximiza a produção, os fabricantes de sistemas fotovoltaicos utilizam a latitude do local (ângulo entre o plano de equador e a normal à superfície).

A inclinação ideal para o verão é a latitude do local menos 15°, para o inverno é a latitude do local mais 15° e inclinação ideal para o ano inteiro é determinada subtraindo à latitude menos 5° [50]. As inclinações dos painéis obtidas para cada localização encontram-se no seguinte quadro:

Quadro 3.4 - Inclinação ideal para os painéis fotovoltaicos

	Latitude	Inclinação ideal (°)		
		Verão	Inverno	Ano inteiro
Faro	37,01	22,01	52,01	32,01
Lisboa	38,72	23,72	53,72	33,72
Porto	41,15	26,15	56,15	36,15

Optou-se por utilizar a mesma inclinação para todas as localizações, utilizando a média das inclinações ideais para o ano interior, resulta de uma inclinação de 34°. O uso de painéis em toda a área da cobertura com a inclinação desejável de 34° não foi possível devido às dimensões do edifício. Assim considerou-se que os painéis solares estão implementados numa pala de sombreamento com 34° colocada na cobertura e que ocupa metade da área da cobertura.

Para determinar o número de painéis que satisfaz as necessidades energéticas recorreu-se ao simulador PVGIS [51]. Esta ferramenta foi desenvolvida pela Comissão Europeia para promover o uso de energias renováveis na União Europeia, fornece um mapa de recursos de energia solar e uma avaliação da produção de eletricidade em lugares da europa, áfrica e sudoeste asiático. O programa prevê a energia diária produzida por um módulo fotovoltaico, através da introdução dos seguintes campos:

- Radiação solar base de dados– Campo de escolha da base de dados sobre radiação solar. As opções de escolha são: Climate-SAF PVGIS e Classic PVGIS. A radiação solar na base de dados Climate-SAF PVGIS foi calculada a partir de imagens de satélites. Os dados representam um total de 12 anos, entre 1998 a 2005 e junho de 2006 a dezembro de 2011. Base de dados Classic PVGIS foi elaborada baseando-se em interpolações de medições realizados em estações terrestres, as medições não são diretas por isso a qualidade da estimativa vai diminuir com o aumento da distância do lugar a estação terrestre, para diminuir o erro efetuou-se a base de dados combinando dados de várias estações. A principal vantagem das medições por satélites é que eles dão cobertura razoavelmente uniforme de grandes áreas, por outro lado, nas imagens pode-se confundir neve com nuvens e não representam muito bem a dependência da radiação solar com a altitude.

Para analisar qual das bases de dados tem maior precisão comparou-se os dados da Classic PVGIS com das medições realizadas entre 1998-2005 e 2006 a dezembro de 2011 da base Climate-SAF PVGIS. Notou-se que a base Climate-SAF PVGIS fornece valores de radiação solar mais elevado e que a diferença entre os valores aumentou ao longo do tempo. Este



acontecimento pode dever-se às alterações climáticas ou a erros de medição. Nesta dissertação a base de dados utilizada foi Climate-SAF PVGIS por ser a mais recente.

- PV tecnologia – A eficiência dos painéis depende da temperatura, da irradiação solar e do tipo de módulo. O PVGIS pode determinar a perda devido a temperatura e irradiação dos seguintes módulos: Crystalline silicon, CIS, CdTe, Unknown/other. Na opção Unknown/other o programa assume uma perda de 8%
- Potência de pico – Campo para a introdução potência que o painel produz segundo o fabricante em condições de teste standard
- Estimativa das perdas do sistema – introdução da perda do sistema, a perda pode se dever a cablagem, inversor ou sujidade nos módulos. 14% é o valor recomendado
- Posição de montagem – Devido interação do vento com o painel a forma como os módulos estão instalados influência a temperatura do módulo, afetando a eficiência. A opção free-standing serve para modelar módulos instalados em suporte que permite o ar fluir livremente por trás dos módulos e a opção building-integrated simula painéis fotovoltaicos embutidos em estruturas.
- Declive – Ângulo que o painel faz com a horizontal
- Azimute – Ângulo formado entre o norte e o alinhamento

O número de painéis fotovoltaicos necessários é determinado dividindo a energia consumida por hora pela energia produzida anualmente por painel, fornecida pelo simulador.

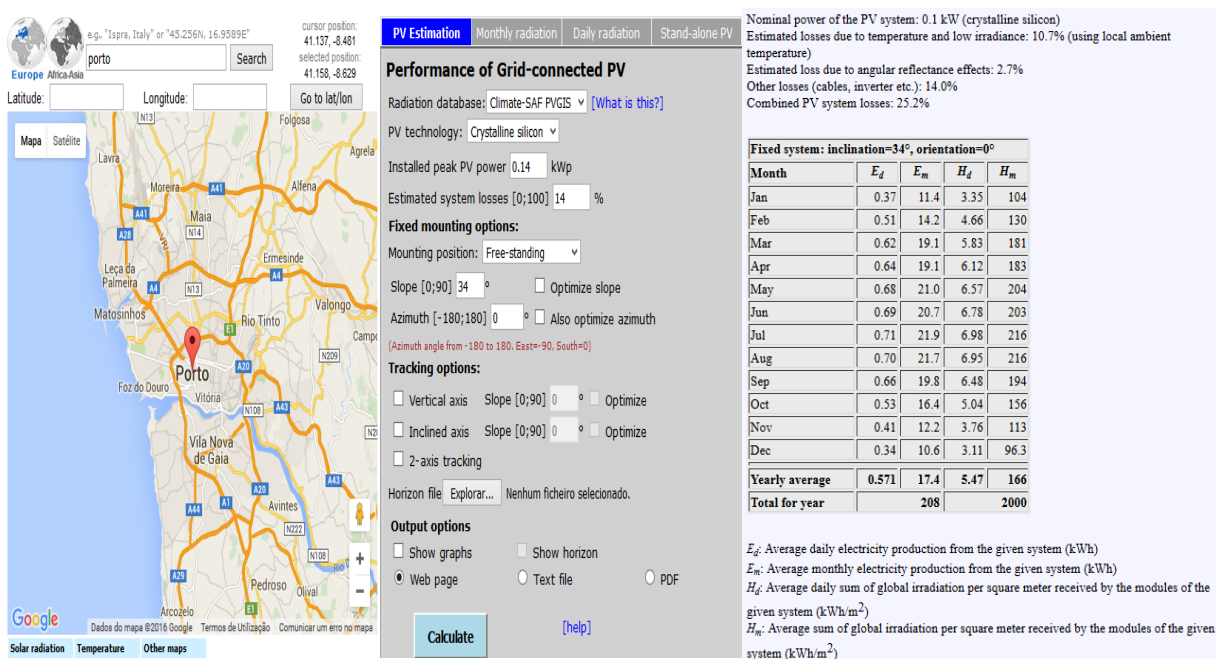


Figura 3.17 - simulador PVGIS

Os resultados da energia produzida anualmente, fornecidos pelo PVGIS, em cada zona climática estão apresentados no Quadro 3.5, assim como, a energia consumida anualmente e o número de painéis necessários para fazer satisfazer as necessidades.

Quadro 3.5 - Número de painéis necessários para satisfazer o consumo

Energia consumida/ano (kwh)		
Porto	Lisboa	Faro
13 026,47	11 968,31	10102,2978
Ed - Energia produzida anualmente por painel (kwh)		
208	211	231
nº de painéis necessários		
64,00	58,00	44,00

Para determinar o número máximo de painéis que se pode colocar na cobertura, há que considerar as dimensões da pala de sombreamento e do painel.

Quadro 3.6 -Número máximo de painéis permitidos na cobertura

Dimensões (m)			
Cobertura	Painel	Cobertura	Painel
10,37	0,79	6,26	1,593
Nº painéis no comprimento		Nº painéis na largura	
13		4	

Com as dimensões dos painéis e da cobertura consegue-se colocar 52 painéis. Os painéis geram eletricidade em corrente contínua e fornecem a energia polarizada, ou seja, um polo é negativo e outro é positivo, o que permite arranjo de painéis em paralelos, em séries ou mistos. Conectar painéis em paralelo consiste em ligar o polo positivo com o polo positivo e o polo negativo com o polo negativo, nesta configuração a cada painel adicionado a tensão se mantém e as correntes se somam. Na conexão em série os polos positivos de um painel são ligados ao negativo do outro e vice-versa, a cada painel adicionado a intensidade da corrente mantém-se inalterada e as tensões se somam.

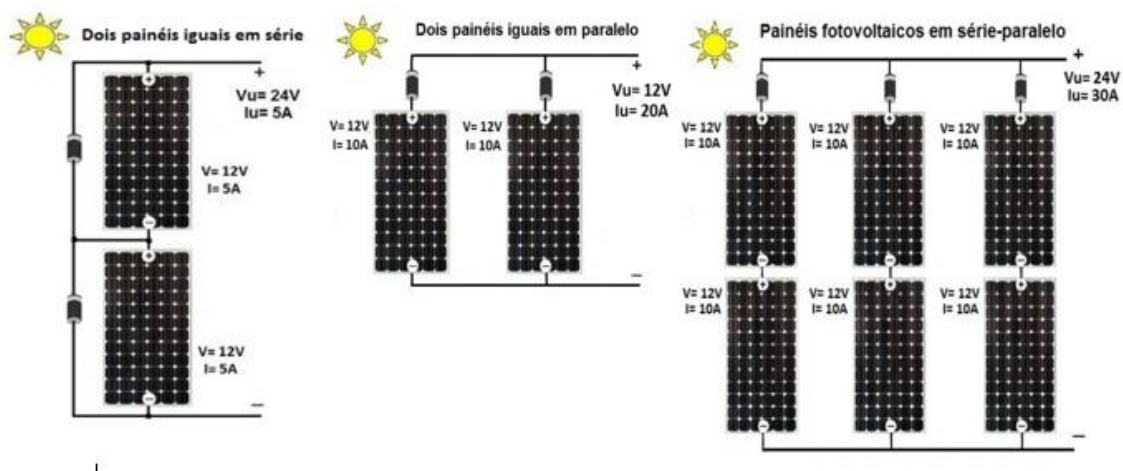


Figura 3.18 - Ligações entre painéis fotovoltaicos (Fonte: MppSolar)

Considerou-se 4 ligações em série e 13 ligações em paralelo. É de salientar que utilizando somente 52 painéis, de acordo com a simulação realizada, poderá não ser possível satisfazer as necessidades energéticas totais do edifício em todas as zonas climáticas. O EnergyPlus pode simular sistemas fotovoltaicos com inversores e baterias mas não permite simular controladores de cargas.

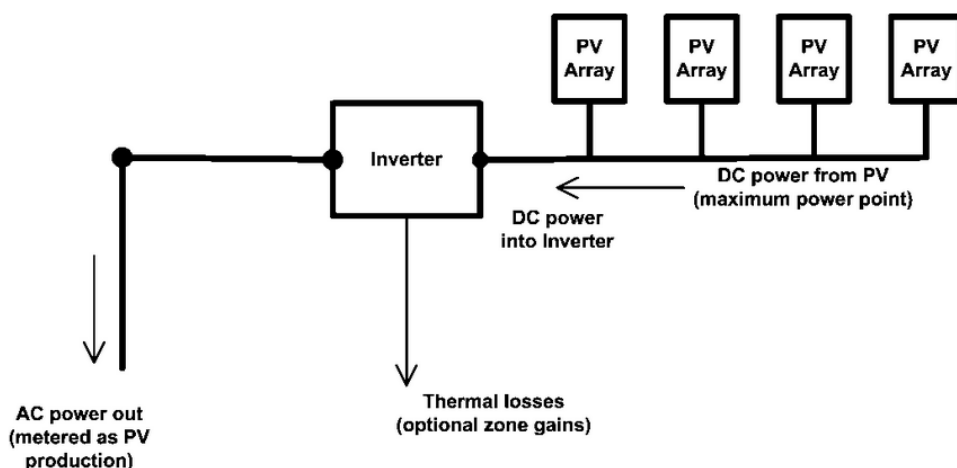


Figura 3.19 - Representação esquemática de um sistema fotovoltaico sem bateria simulado no EnergyPlus (Fonte: DesignBuilder)

No dimensionamento do inversor é preciso garantir que em nenhum momento, a tensão máxima de entrada do inversor seja ultrapassada, por isso optou-se por um inversor com elevada potência capaz de satisfazer as necessidades de todas as zonas climáticas em estudo. O inversor escolhido foi PVP30KW-208 fabricada pela PV POWERED, as propriedades deste inversor introduzidas no objecto: *ElectricLoadCenter:Inverter:LookUpTable* do EnergyPlus foram retiradas no site da empresa GOSOLARCALIFORNIA [53].

As propriedades do painel fotovoltaico introduzidas no EnergyPlus foram obtidas através da biblioteca que o próprio programa contém para o modelo Sandia [54].

### 3.4. Métodos de controlo de carga

Neste subcapítulo é apresentado métodos de controlo de cargas para diminuir o consumo de energia fornecida pela rede de distribuição, aproveitando-se da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos. Como a energia produzida pelos painéis solares depende da localização do edifício, o estudo foi realizado para diferentes locais.

As decisões na gestão de consumo das cargas devem ser feitas tendo em consideração:

1. Tipologia da carga (carga interrompível ou carga não interrompível);
2. Preferências do utilizador (os ciclos e funcionamento dos eletrodomésticos têm de ser concluídas dentro de um limite de tempo);
3. Necessidades de conforto (variação de temperatura dos termóstatos).

A escolha das estratégias disponíveis para o desfasamento temporal do consumo de energia depende do tipo de carga, e estas podem ser classificadas da seguinte maneira quanto ao grau de controlo:

1. Cargas não controláveis – São cargas que não podem ser desligadas por qualquer sistema de controlo, tais como, equipamentos audiovisual e informático; iluminação; outros equipamentos (ferro de engomar, torradeira, etc.);
2. Cargas parametrizáveis – São cargas em que os parâmetros de funcionamento podem ser alterados, como os sistemas de ar condicionado, termoacumuladores e combinados;
3. Cargas interrompíveis – são cargas possíveis de interromper por um determinado período de tempo;
4. Cargas reagendáveis – Cargas que podem ser utilizadas num período diferente do habitual, tais como, a máquina de lavar e secar.

Os sistemas de aquecimento elétrico de águas, ar condicionado, aquecimento ambiente elétrico e frigorífico são exemplos de cargas que podem ser alvo de medidas de controlo/desvio/parametrização. Estas estratégias não podem ser utilizadas em sistemas audiovisuais e iluminação, uma vez que o uso depende do utilizador. Assim, as cargas que têm alguma capacidade de armazenamento de energia e desfasamento temporal entre o consumo de energia e a utilização (caso dos termoacumuladores e dos equipamentos de frio), ou cargas cujo funcionamento possa ser alterado sem degradação da qualidade do serviço fornecido (caso das máquinas de lavar e secar) são cargas que podem ser controladas. Nos gráficos 3.20, 3.21 e 3.22 estão representados, segundo o tipo de carga, os consumos diários de cada equipamento para a época de aquecimento na região de Faro.

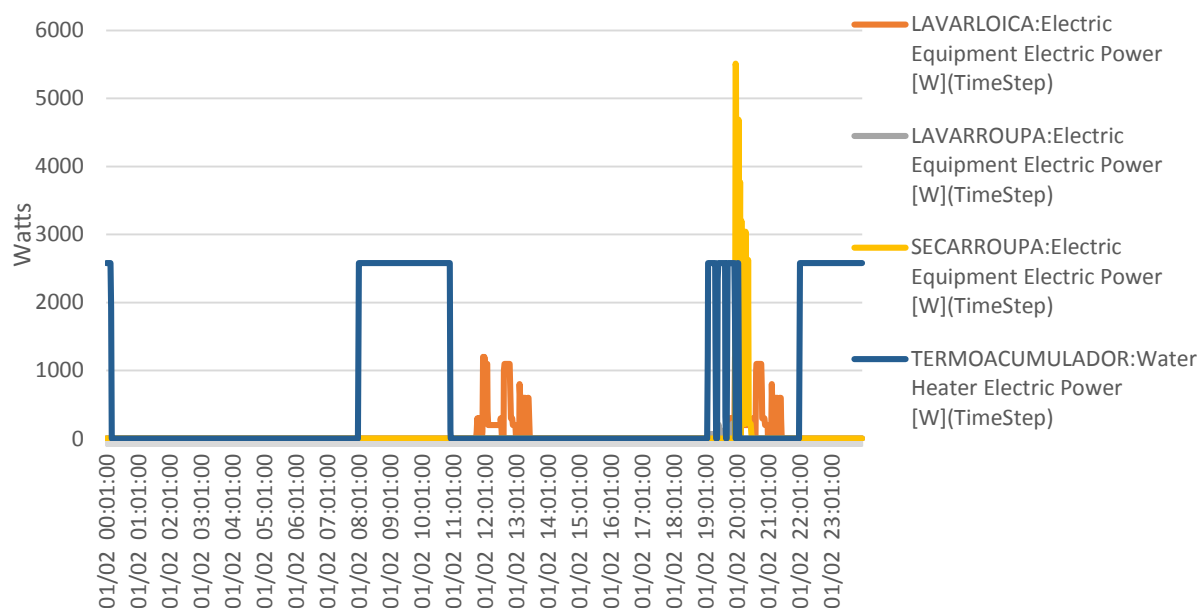


Figura 3.20 - Cargas reagendáveis

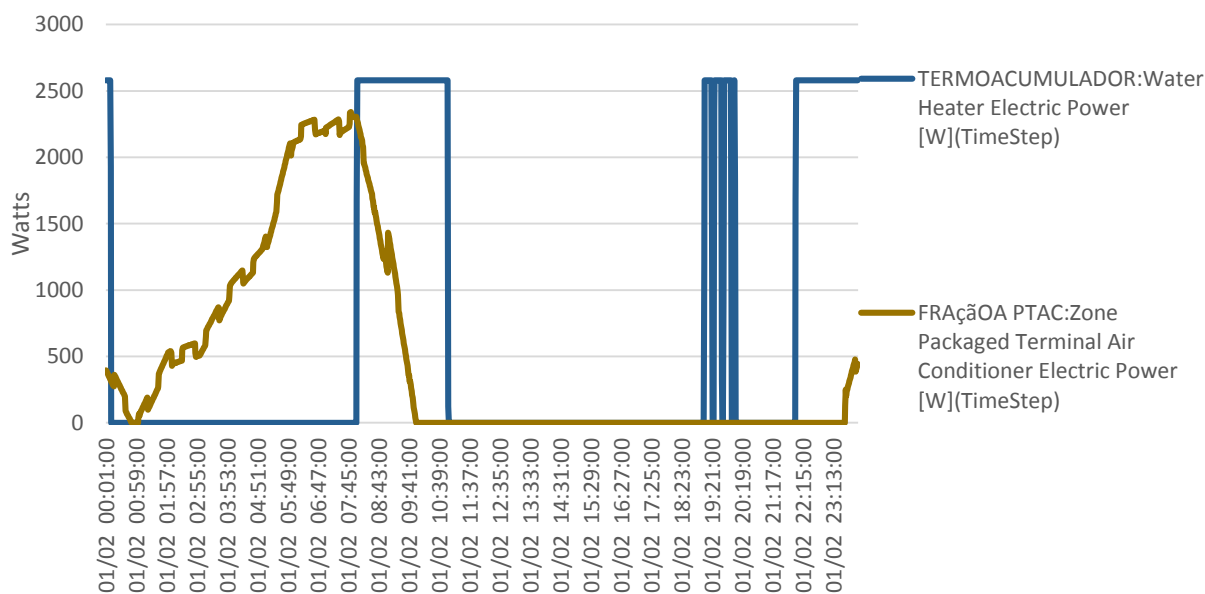


Figura 3.21 - Cargas parametrizáveis

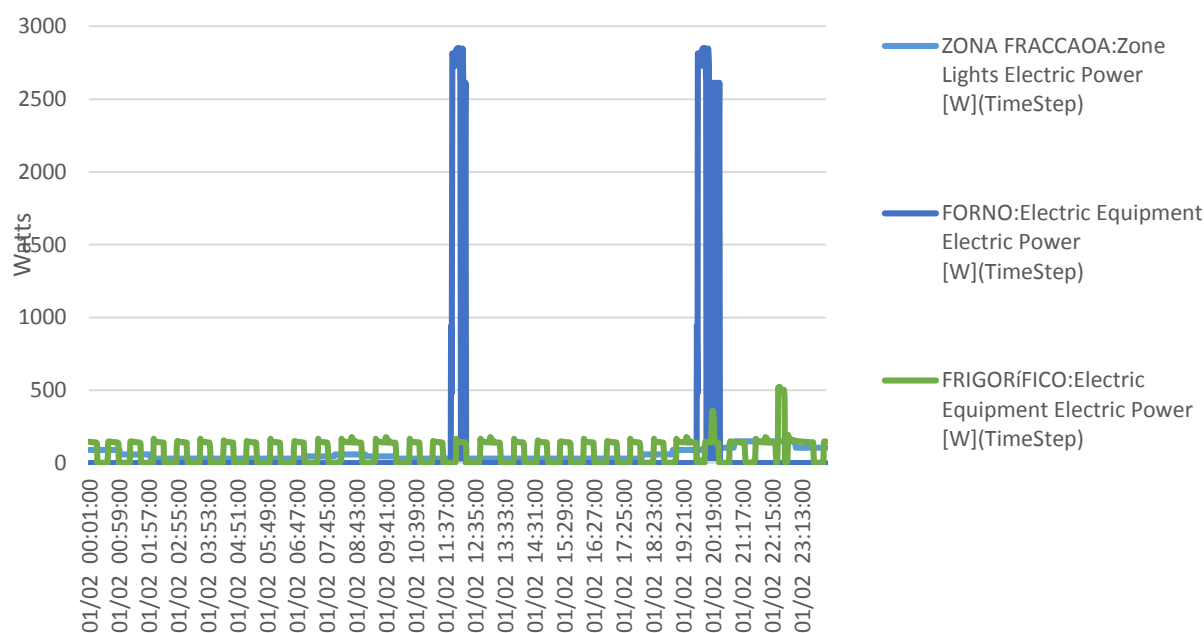


Figura 3.22 - Cargas não controláveis

As cargas provenientes de aparelhos de climatização devem ser consideradas como permanentes. A sua gestão depende diretamente da temperatura pretendida pelo utilizador e também de outros fatores não menos importantes como a transferência de calor entre o interior e o exterior, a exposição solar, etc. A máquina de lavar roupa, louça e de secar roupa são cargas que devem ser consideradas como não prioritárias no sistema de gestão de energia numa habitação, o funcionamento destas máquinas pode ser adiado quando existe a necessidade de limitar a potência total de consumo da instalação ou quando o preço da energia é superior à média. o termoacumulador é um dos equipamentos que mais energia consome, por isso é do interesse do consumidor adiar o funcionamento deste para os períodos de baixo consumo ou para períodos de tempo com elevada produção de eletricidade. O consumo da iluminação, forno e frigorífico depende muito dos hábitos dos habitantes por isso considerou-se que são cargas não controláveis.

Para determinar a necessidade de otimização das cargas comparou-se a quantidade de energia proveniente dos painéis fotovoltaicos utilizada para satisfazer as necessidades energéticas com a quantidade de energia importada para satisfazer as necessidades, estas quantidades estão apresentadas no quadro 3.7. Pelo quadro 3.7 constata-se que todos os equipamentos consomem maioritariamente a energia proveniente da rede de distribuição elétrica, salienta-se a elevada utilização de energia importada dos equipamentos de AVAC.

Quadro 3.7 - Energia importada e Energia proveniente da produção local necessárias para satisfazer o consumo

		kWh					
		AVAC	Termo acumulador	Máq. Lavar loiça	Máq. Lavar roupa	Máq. Secar roupa	Forno
Faro	Energia importada	1256,03	3050,26	256,72	33,54	199,63	514,14
	Energia PV	433,16	2246,74	261,58	2,61	0,00	380,67
Lisboa	Energia importada	3198,12	3066,58	260,00	34,59	199,63	534,90
	Energia PV	786,96	2230,42	258,29	1,57	0,00	359,90
Porto	Energia importada	4203,41	3410,17	258,99	31,76	199,63	545,55
	Energia PV	689,77	1886,83	259,31	4,39	0,00	349,25

Pelo quadro anterior constata-se a necessidade de melhor o aproveitamento da energia produzida pelos painéis, na secção seguinte é apresentado o programa de otimização utilizado para aumentar o consumo da energia produzida.

### 3.5. GenOpt

O GenOpt foi desenvolvido pelo *LBNL's Simulation Research Group* é um programa de simulação, que permite otimização multidimensional do modelo de simulação, facilitando os cálculos para o melhoramento térmico do edifício. Pode ser utilizado com qualquer programa de simulação que tem saídas e entradas de texto como o EnergyPlus. O programa resolve um problema de minimização, modificando parâmetros independentes indicados pelo utilizador através de um ficheiro texto.

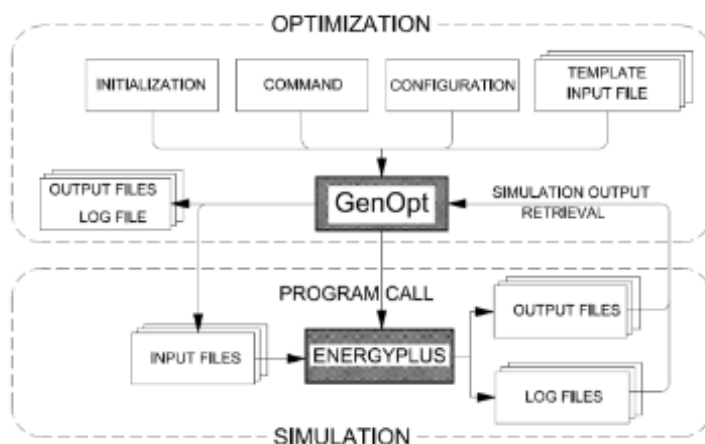


Figura 3.23 - Diagrama do funcionamento do GenOpt acoplado com o EnergyPlus (Fonte: Wetter)

Para iniciar a simulação, o GenOpt precisa de 2 ficheiros de texto (command e configuration) e um ficheiro idf, a estrutura e funcionalidade de cada ficheiro é exposto em seguida.

## 1. Template file

Este ficheiro é o ficheiro de entrada para o programa de simulação onde estão assinaladas as variáveis do problema. O GenOpt funciona através da substituição das variáveis independentes nos arquivos de entrada com diferentes valores seleccionados pelo algoritmo de otimização, para fazer isto o programa lê o ficheiro template e escreve novos ficheiros de entrada (idf) em cada otimização. As variáveis independentes têm de estar escritas neste ficheiro entre % %.

As variáveis independentes são a temperatura do termóstato e o horário de entrada de água fria no termoacumulador.

## 2. Command file

Neste ficheiro texto é especificado o tipo de variáveis existentes no ficheiro template. As variáveis podem ser contínuas ou discretas. As variáveis contínuas podem ter qualquer valor entre um máximo e um mínimo especificado com o espaçamento ditado pelo valor introduzido no step.

Se  $\text{step} < 0$  o espaçamento é logaritmo e os valores de  $x_i$  são calculados pelo seguinte método: para  $i \in \{1, \dots, m\}$ ,

$$p = \frac{1}{m} \log \frac{u}{l} \quad (3.09)$$

$$x_i = l 10^{pi} \quad (3.10)$$

Se  $\text{step} > 0$ , o espaçamento é linear e para  $i \in \{1, \dots, m\}$ ,

$$x_i = l + \frac{i}{m}(u - l) \quad (3.11)$$

Os parâmetros discretos podem ser somente os valores especificados pelo utilizador. Neste ficheiro também se especifica o tipo de algoritmo utilizado para a simulação.

A temperatura do termóstato, pode variar entre as 06:00 e 20:00 horas, de uma em uma hora. Na época de aquecimento pode variar entre 18°C e 24°C e na época de arrefecimento pode variar entre 19°C e 25°C.

Para a otimização do funcionamento do termoacumulador admitindo-se que a água entra no termoacumulador com caudal de 13l/min, segundo [44] este é o fluxo de saída da água num chuveiro tradicional, com este fluxo é necessário 15 minuto para encher um termoacumulador com 200 litros. As variáveis que regulam a entrada de água no termoacumulador, podem tomar o valor de 0 ou 1, sendo que 0 significa que não existe água fria a entrar no termoacumulador, não havendo consumo de energia para o aquecimento, se a variável for 1 significa que existe água a entrar no termoacumulador com caudal de 13l/min.



O GenOpt tem uma biblioteca com algoritmos de otimização multidimensional e de uma dimensão. Alguns algoritmos funcionam só com parâmetros contínuos e outros funcionam somente com parâmetros discretos e alguns podem operar com os dois tipos de variáveis. Os algoritmos de otimização multidimensional podem ser genéticos ou híbridos. Os híbridos têm maior probabilidade de encontrar o mínimo global, mas requer mais simulações do que genéticos, são mais eficientes porque utilizam dois algoritmos.

O algoritmo escolhido para a realização da otimização é *Generalized Pattern Search Algorithm with Particle Swarm Optimization Algorithm*. GPSPSOCCHJ é um algoritmo híbrido, que combina o algoritmo *particle swarm optimization* com o algoritmo Hooke-Jeeves. Este algoritmo começa fazendo um *Particle Swarm Optimization* em uma malha por um número de gerações especificado pelo usuário. Posteriormente, o algoritmo inicializa o *Hook-Jeeves Generalized Pattern Search Algorithm* usando variáveis independentes da partícula com o menor valor da função custo.

Este algoritmo híbrido aceita parâmetros contínuos e descontínuos e resolve problemas de programação mista com o tipo de formato de:

$$P_{cd} = \min_{x \in X} f(x) \quad (3.12)$$

onde  $f(x)$  é a função a minimizar e  $x$  são os parâmetros independentes, que estão limitados a um limite inferior e superior ou a um conjunto de valor indicado da seguinte forma:

$$X \triangleq X_c \times X_d \quad (3.13)$$

$$X_c \triangleq \{X \in R^{n_c} | l^i \leq X^i \leq u^i, i \in \{1, \dots, n_c\}\} \quad (3.14)$$

Em que as variáveis contínuas tem de satisfazer  $-\infty \leq l^i < x^i \leq \infty$  para  $i \in \{1, \dots, n\}$  e o conjunto de restrições  $X_d \subset Z^{n_d}$  para as variáveis discretas. Adicionando as restrições ao problema anterior ter-se-á:

$$P_{cd} \quad \min_{x \in X} f(x) \quad (3.15)$$

$$g(x) \leq 0 \quad (3.16)$$

$$g: R^{n_c} \times R^{n_d} \rightarrow R^m \text{ para } m \in \mathbb{N}.$$

Quando o algoritmo deixar de funcionar é iniciado o algoritmo Hooke-Jeeves Generalized Pattern Search (GPS), utilizando as variáveis contínuas com o custo menor, as variáveis discretas neste algoritmo são fixas com o valor da partícula de menor custo no algoritmo anterior.

Hooke-Jeeves algoritmo (Hooke e Jeeves, 1961) funciona em duas fases: exploração e progressão. A fase de exploração estima a direção provável do mínimo partir de um ponto base, deste caso o mínimo obtido pelo algoritmo anterior. A fase de progressão progride na direção do mínimo

provável enquanto o valor da função custo diminuir continua a progressão, se não escolhe uma direção diferente e reduz a dimensão da malha.

Os parâmetros utilizados deste algoritmo são:  $D, r, s_0$  e  $t_k$ .  $D$  é a matriz de direção de procura é definido por:

$$D \triangleq [+s^1 e_1, -s^1 e_1, \dots, +s^n e_n, -s^n e_n] \quad (3.17)$$

Onde  $s^n \in \mathbb{R}, i \in \{1, \dots, n_p\}$  é um escalar para cada parâmetro, especificado através do campo step,

A sequência de parâmetros de tamanho da malha que parametriza a distância mínima entre iterações é calculada pela expressão

$$\Delta_k \triangleq \frac{1}{r^{s_k}} \quad (3.18)$$

$$s_k \triangleq s_0 + \sum_{i=0}^{k-1} t_i \quad (3.19)$$

Sendo  $t_i$  o incremento do expoente do tamanho da malha, definido pelo parâmetro MeshSizeExpoenteIncrement, fazendo com que os pontos fiquem numa malha da forma:

$$\mathbb{M}_k \triangleq \{x_0 + \Delta_k Dm \mid m \in \mathbb{N}^{2n}\} \quad (3.20)$$

Onde  $m$  é definido pelo parâmetro NumberOfStepReduction

A procura global é feita procurando um conjunto de soluções que sejam válidas

$$\gamma_k: X_k \times \Delta_k \times \mathbb{R}_+^q \rightarrow (2^{\mathbb{M}_k} \cap X) \cup \emptyset \quad (3.21)$$

Sendo  $X_k$  o conjunto das restrições e  $\mathbb{R}_+^q$  um valor de tolerância. A procura local é feita recorrendo a matriz de direção. O conjunto da procura local é

$$\mathcal{L}_k \triangleq \{x_k + \Delta_k D e_i \mid i \in \{1, \dots, 2n\}\} \cap X \quad (3.22)$$

O algoritmo do modelo encontra-se escrito no algorithm 5.1.8 do manual do programa de otimização. Para implementação do GPSPSOCCHJ é preciso indicar os seguintes parâmetros:

- NeighborhoodTopology – O tipo de vizinhança escolhido é VonNeumann, nesta opção a vizinhança é considerada uma estrutura de duas dimensões;
- NeighborhoodSize – O tamanho da vizinhança utilizado foi 5.
- NumberOfParticle – Número de partículas em cada geração atribuído foi 20;
- NumberOfGeneration – Para a otimização foi utilizado 10 gerações;
- Seed – Este valor é utilizado para iniciar um gerador de número aleatório para espalhar uniformemente as partículas no hipercubo definido de utilizador. o valor atribuído foi 1;

- CognitiveAcceleration – Este valor afeta o modo com que as outras partículas influenciam a próxima localização da partícula, valor atribuído 2.8;
- SocialAcceleration – Este valor afeta o modo com que a experiência da própria partícula influencia a próxima localização da partícula, valor atribuído foi 1.3;
- MaxVelocityGainContinuous - Se for nulo ou negativo não há variação de velocidade, valor atribuído 0.5;
- MaxVelocityDiscrete – É frequentemente definido como 4 para evitar a saturação da função sigmóide
- ConstrictionGain – Este fator é introduzido para reduzir a velocidade com que a população vai para um ponto, e tem de estar no intervalo de 0 a 1. Se for 1 o espaço é todo revistado o que faz a convergência ficar lenta, valor atribuído 0.5;
- MeshSizeDivider – É variável  $r$ , define o tamanho da malha deve tomar um valor superior a 1, o valor atribuído foi 4;
- InitialMeshSizeExponent – Valor inicial do expoente do tamanho da malha, valor utilizado 1;
- MeshSizeExponentIncrement – Incremento do expoente do tamanho da malha, valor atribuído foi 1;
- NumberOfStepReduction – Número máximo de interações de redução antes do algoritmo GPS termine valor utilizado foi 4;

3. Configuration file - Ficheiro que indica o erro e o comando de inicio.

4. Optwin7

Neste ficheiro é especificado os ficheiros de entrada que vão ser lidos e os ficheiros output e aonde se pode obter os valores para o cálculo da função a minimizar.

A função objetivo definida tem como finalidade diminuir o consumo de energia proveniente da rede, aumentando o uso da energia produzida pelos painéis.

Infelizmente não foi possível otimizar os seguintes equipamentos: máquina de lavar roupa, loiça e forno, porque o GenOpt não permite o deslocamento de cargas mantendo a relação entre as variáveis. A otimização do termoacumulador, no entanto foi possível através da introdução de uma “função penalti”, que permite ao termoacumulador funcionar uma vez durante a tarde para aproveitar a energia produzida:

$$g(x) = 10^{12} \times (1 - x) \quad (3.23)$$

$x$  representa a quantidade de vezes que a água entra no termoacumulador, é a soma das variáveis independente que regulam a entrada da água, pode tomar valores compreendidos entre 0 e 11. Se  $n$  for 1 esta função é nula.

A função objetivo resulta da adição da função  $g(x)$  com o valor do campo output *ElectricityPurchased:Facility*.

A figura 3.24 foi obtida pelo programa e apresenta a evolução dos consumos de energia importada ao longo do processo iterativo, para todas as zonas foram realizadas 335 simulações.

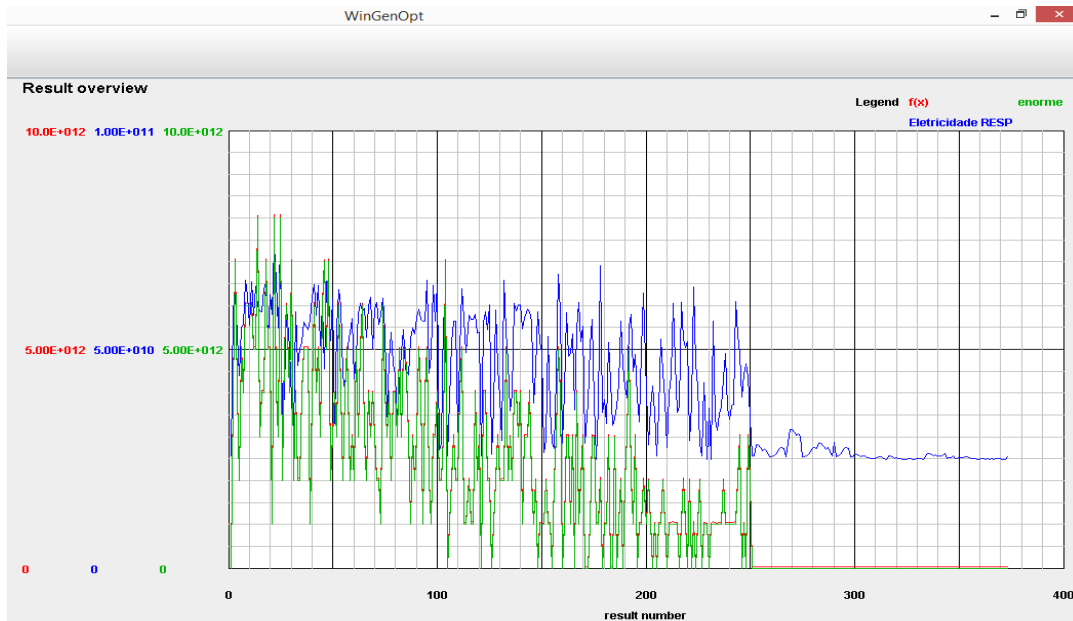


Figura 3.24 - Evolução da função custo ao longo das iterações

Pode-se observar que ao fim das 10 gerações a função “enorme” que representa a função  $g(x)$  mencionada anteriormente é nula. Os resultados das otimizações são apresentados no próximo capítulo.

## 4. Análise de resultados

Neste capítulo apresenta-se os resultados e análise das otimizações obtidas através do programa GenOpt, para todas as zonas climáticas, utilizando os índices apresentados em seguida e a energia importada e exportada em cada caso.

Para determinar a qualidade das soluções otimizadas para o deslocamento de cargas, recorre-se a indicadores de concordância de cargas que servem para descrever o grau de utilização da energia gerada no local para satisfazer o consumo de energia. Os indicadores utilizados foram retirados dum relatório publicado no âmbito do projeto *IEA task40/Annex 52* [59]:

- *Load cover factor* (Fator de concordância de carga) – Num edifício sem bateria e desprezando as perdas do sistema de produção, este indicador é calculado através da seguinte fórmula:

$$f_{load,i} = \min \left[ 1, \frac{generation_i}{load_i} \right] \times 100 \quad (4.1)$$

$$F_{load} = \frac{\sum f_{load,i}}{N} \quad (4.2)$$

Onde N é o número da amostragem.

Este fator descreve o grau de utilização da energia produzida para satisfazer as necessidades energéticas, um valor unitário significa que a energia produzida é superior à energia consumida podendo o edifício fornecer energia para a rede.

- *Grid interaction index* (Índice de interação com a rede) – Indica a variação da troca de energia entre a rede e o edifício, normalizado para o valor máximo absoluto, é determinada pela seguinte fórmula:

$$f_{grid,i} = \frac{exp_i - imp_i}{\max |exp_i - imp_i|} \quad (4.3)$$

$$F_{grid} = STD(f_{grid,i}) \quad (4.4)$$

Este índice descreve o fluxo de troca de energia entre a rede e o edifício, não a quantidade de energia exportada. Se a importação de energia ou exportação for constante ao longo do tempo o índice de interação com a rede ( $F_{grid}$ ) será baixo. Um valor positivo na fórmula 4.3 significa que o edifício exporta mais energia do que produz.

- *Generation multiple* (múltiplo da geração) – Rácio entre o pico da geração e o pico do consumo:

$$GM = \frac{\max[g(t)]}{\max[l(t)]} \quad (4.5)$$

- *Loss of loads probability* (probabilidade da perda de carga) – Indica a percentagem do tempo que a geração é inferior ao consumo de energia:

$$LOLP = \frac{\int_{t_1}^{t_2} dt_{l(t) > g(t)}}{t} \quad (4.6)$$

Em seguida executam-se análises das otimizações recorrendo a estes fatores, para determinar a eficiência no deslocamento de cargas para dentro da curva de produção, e recorrendo à determinação da energia exportada e importada para as soluções base e otimizadas.

#### 4.1. Zona climática: Faro

A melhor solução de programação da temperatura do termóstato para a época de aquecimento, segundo o programa de otimização encontra-se no quadro 4.1. Neste cenário a temperatura aumenta para 20,25°C às 12:00 horas e mantém-se constante até às 15:00 horas, momento a partir do qual começa a diminuir progressivamente.

Na época de arrefecimento a temperatura começa a diminuir gradualmente a partir das 07:00 para atingir um valor de 22°C ao 12h00 e mantém-se constante até às 16h00, momento a partir do qual começa a aumentar novamente.

Quanto ao termoacumulador, tanto no inverno como no verão a água fria entra no termoacumulador às 10 horas e este começa a consumir energia para realizar o aquecimento da água.

Quadro 4.1 - A temperatura do termóstato para a época de arrefecimento de arrefecimento para Faro

	00:00 07:00	07:00 09:00	09:00 12:00	12:00 13:00	13:00 15:00	15:00 16:00	16:00 17:00	17:00 18:00	18:00 00:00
Época aquec.	18	18	18	20,25	20,25	19,5	18,75	18	18
Época arrefec.	25	24,25	23,5	23,5	22	22	22,75	24,25	25

Os perfis de consumo diário, resultantes do novo horário de funcionamento do termoacumulador e da nova programação do termóstato, encontram-se anexo A.

Através do quadro 4.2 constata-se que a otimização realizada para a época de aquecimento reduz os consumos em relação à solução base 30%, à custa da redução de 16% da energia fornecida para a rede. A solução ótima para a época de arrefecimento diminui em 28% o consumo de energia proveniente da RESP diminuindo 35% a energia exportada.

Quadro 4.2 - Energia total importada e exportada para Faro

importação (Kwh)				exportação (Kwh)			
Época de aquecimento		Época de arrefecimento		Época de aquecimento		Época de arrefecimento	
Solução base	Solução otimizada	Solução base	Solução otimizada	Solução base	Solução otimizada	Solução base	Solução otimizada
4826,55	3395,13	1524,80	1102,46	6204,32	5228,17	4091,29	2658,43
30%		28%		16%		35%	

Para o estudo dos efeitos na redução dos consumos em cada equipamento elaborou-se o quadro 4.3, neste quadro é possível constatar que a otimização fez com que a importação de energia para a climatização diminui-se cerca de 27% e para o aquecimento de água 47%.

Quadro 4.3 - Quantidade de energia consumida por tipo de fonte pelos equipamentos otimizados para Faro

	Solução base (kWh)		Solução otimizada (kWh)	
	AVAC	Termoacumulador	AVAC	Termoacumulador
Energia importada	1263,07	3091,25	916,31	1631,41
			27%	47%
Energia PV	426,12	2205,75	2500,18	1548,49

Analisando os índices de concordância, o *load cover fator* da solução base é 93%. Salienta-se que este fator é diário, se a análise fosse realizada num período menor (horas ou minutos) este índice seria inferior visto que existiriam períodos de não produção (períodos noturnos), em que o *load cover fator* seria 0. O *load cover fator* da solução otimizada reduz para 92%, o que indica que o aumento do consumo nas horas de produção ultrapassou a produção de energia em mais intervalo de tempo, este fato pode ser constatado pelo aumento de 1% do *Loss of loads probability*. O *grid interaction index* diminui 1%, é possível observar que entre junho e setembro, houve aumento dos *grids interactions index* mensais o que indica que a energia importada diminui ou que a energia exportada aumentou.

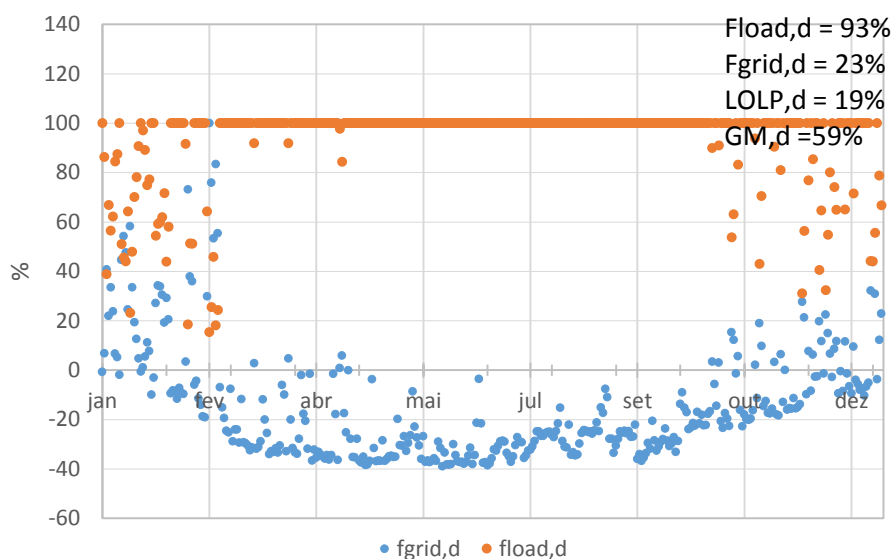


Figura 4.1 - Load Matching da solução base para faro

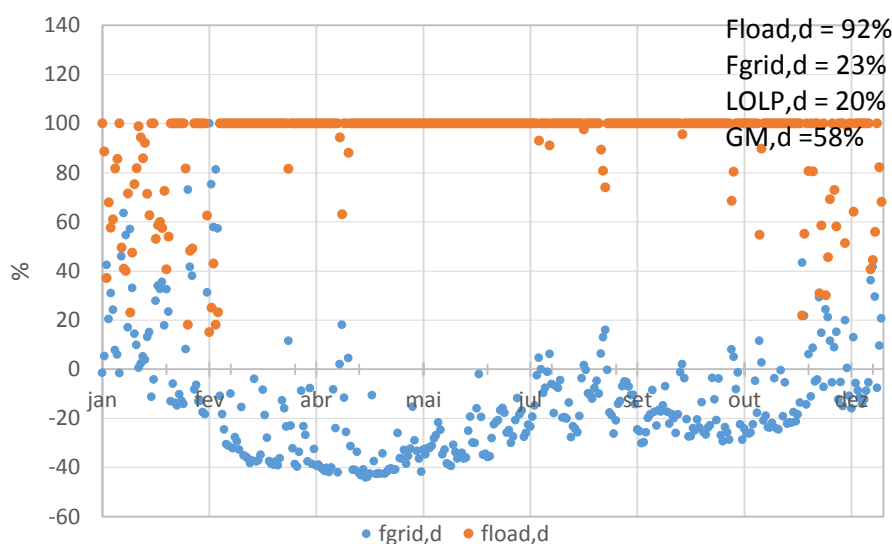


Figura 4.2 - Load Matching da solução otimizada para faro

## 4.2. Zona climática: Lisboa

A melhor solução de programação da temperatura do termóstato para a zona climática de Lisboa, segundo o programa de otimização, encontra-se no quadro 4.4.

Para a época de arrefecimento a temperatura do termóstato aumenta progressivamente até atingir 20,25°C entre 13:00 e 14:00 horas, a partir das 14:00 horas a temperatura do termóstato começa a diminuir até atingir os 18°C às 16:00 horas.

No verão a temperatura diminui progressivamente, entre as 09:00 e as 10:00 horas fica definida nos 22,75°C, a partir das 10:00 horas a temperatura começa a aumentar progressivamente até atingir os 25°C, o termóstato é mantida a esta temperatura entre as 11:00 e as 13:00 horas. Entre as 13:00 e as 17:00 esta definida nos 24,25°C, voltando aos 25°C às 17:00 horas.



Nas duas épocas o termoacumulador começa a operar das 10:00 às 10:40 devido a entrada de água fria no termoacumulador às 10:00 horas.

Quadro 4.4 - A temperatura do termóstato para a época de arrefecimento de arrefecimento para Lisboa

	00:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	16:00	17:00
	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	16:00	17:00	00:00
Época aquec.	18	18	18	18	18	18	18,75	20,25	19,5	18	18
Época arrefec	25	24,25	23,5	22,75	24,25	25	25	24,25	24,25	24,25	25

Através do programa conseguiu-se uma redução dos consumos da energia fornecida pela RESP de 23% na época de aquecimento e 16% na época de arrefecimento.

Quadro 4.5 - Energia total importada e exportada para Lisboa

Importação (Kwh)				Exportação (Kwh)			
Época de aquecimento		Época de arrefecimento		Época de aquecimento		Época de arrefecimento	
solução base	solução otimizada	solução base	solução otimizada	solução base	solução otimizada	solução base	solução otimizada
6994,18	5406,85	1473,24	1119,28	4993,71	4202,01	3723,16	3304,83
23%		24%		16%		11%	

Pelo Quadro 4.6 constata-se que a otimização fez com que a importação de energia para o consumo dos equipamentos de AVAC diminui-se cerca de 12% e para o aquecimento de águas 45%.

Quadro 4.6 - Quantidade de energia consumida por tipo de fonte pelos equipamentos otimizados para Lisboa

	Solução base (kWh)		Solução otimizada (kWh)	
	AVAC	Termoacumulador	AVAC	Termoacumulador
Energia importada	3118,25	3110,16	2743,45	1721,44
			12%	45%
Energia PV	766,82	2186,84	1689,63	1458,46

Quanto aos índices, o *load cover fator* aumentou 1% da solução base para a solução otimizada, o *Loss of loads probability* diminuiu, a mudança destes dois fatores expressa que durante as horas de produção o tempo que o consumo foi superior à produção diminui em relação à solução base. O *grid interaction index* aumentou 2% este aumento exprime o aumento da variação da exportação ou importação de energia ao longo do ano. O *Generation multiple* diminui 8% isto se deve ao aumento pico do consumo nas horas de produção para diminuir o consumo fora das horas de produção.

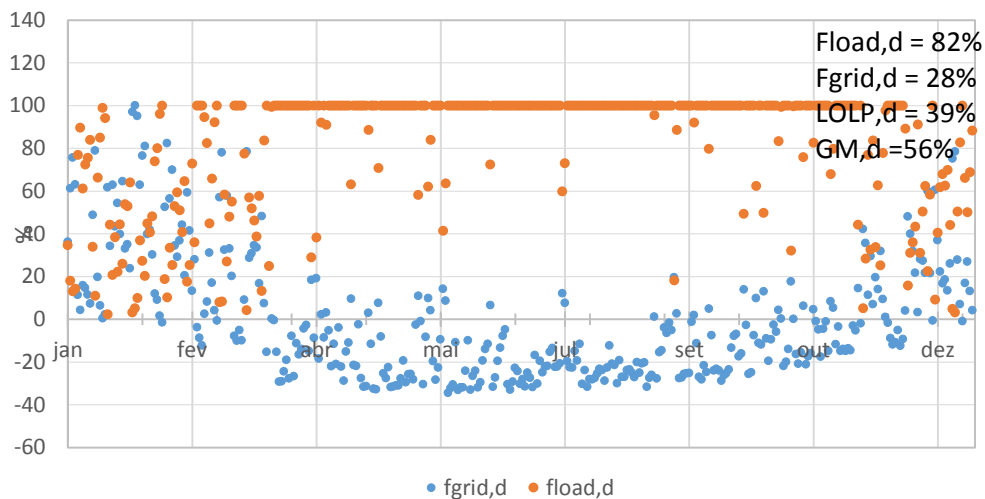


Figura 4.3 - Load Matching da solução base para Lisboa

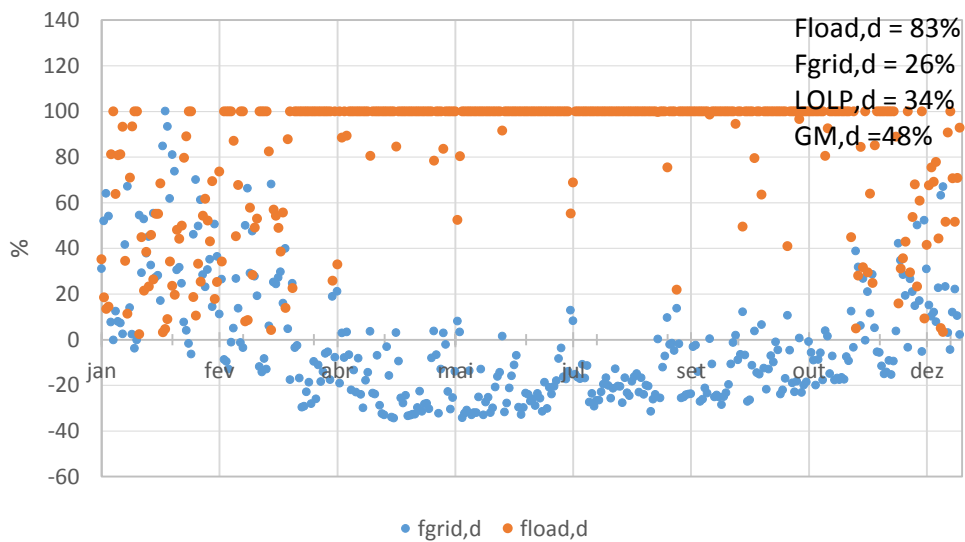


Figura 4.4 - Load Matching da solução otimizada para Lisboa

### 4.3. Zona climática: Porto

A temperatura do termóstato no inverno começa por aumentar às 10:00, para 18,75°C, o termóstato mantém-se a esta temperatura até ao meio dia, período onde volta a estar definido para manter a temperatura interior nos 18°C, continua a esta temperatura até às 14:00, momento a partir do qual aumenta para 20,25°C, voltando a diminuir para os 19,5°C às 15:00 e para 18°C às 16:00 horas. A água fria entra no termoacumulador às 12:00 horas.

Na solução otimizada para a época de aquecimento, a temperatura do termóstato diminui para 24,25°C às 07:00 horas, voltando para os 25°C às 11:00, das 12:00 às 16:00 a temperatura interior está definida para ser 22°C. A partir das 16:00 horas a temperatura começa a aumentar progressivamente até atingir os 25°C às 18:00 horas. O termoacumulador inicia-se o seu funcionamento as 10:00 horas devido a entrada da água.

Quadro 4.7 - A temperatura no termóstato para a época de arrefecimento de arrefecimento para Porto

	00:00 07:00	07:00 10:00	10:00 11:00	11:00 12:00	12:00 14:00	14:00 15:00	15:00 16:00	16:00 17:00	17:00 18:00	18:00 00:00
Época aquec	18	18	18,75	18,75	18	20,25	19,5	18	18	18
Época arrefec	25	24,25	24,25	25	22	22	22	22,75	24,25	25

Para a zona climática de porto solução otimizada para a época de aquecimento reduz os consumos 20%, a custa da redução de 24% da energia fornecida para a rede. A solução ótima para a época de arrefecimento diminui 27% o consumo de energia proveniente da RESP diminuindo 14% a energia exportada.

Quadro 4.8 - Energia total importada e exportada para Porto

Importação (kWh)				Exportação ( kWh )			
Época de aquecimento		Época de arrefecimento		Época de aquecimento		Época de arrefecimento	
solução base	solução otimizada	solução base	solução otimizada	solução base	solução otimizada	solução base	solução otimizada
8473,32	6773,06	1476,75	1074,85	4827,77	3676,99	3849,52	3298,15
20%		27%		24%		14%	

Pelo Quadro 4.6 constata-se que otimização fez com que a importação de energia para o consumo dos equipamentos de AVAC diminui-se cerca de 6% e para o aquecimento de águas 49%.

Quadro 4.9 - Quantidade de energia consumida por tipo de fonte pelos equipamentos otimizados para Porto

	Solução base (kWh)		Solução otimizada (kWh)	
	AVAC	Termoacumulador	AVAC	Termoacumulador
Energia importada	4226,60	3455,63	3984,63	1754,69
			6%	49%
Energia PV	666,58	1841,38	1819,16	1425,21

O *load cover fator* aumentou 1%, o que significa que a otimização, à custa do aumento do consumo nas horas de produção fez o consumo ultrapassar a produção de energia em menos intervalos de tempo. O *Loss of loads probability*, diminui 2%, apesar da redução ser pequena esta diminuição exprime a diminuição do tempo que o consumo é superior a produção.

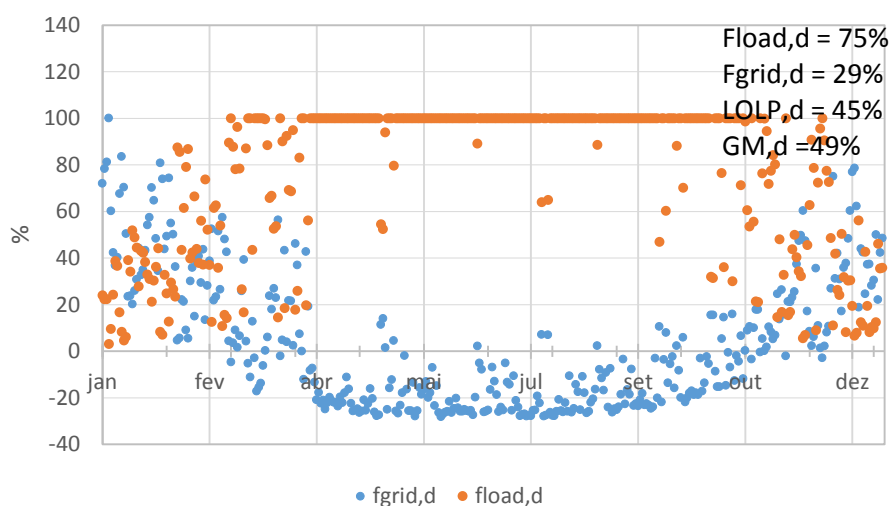


Figura 4.5 - Load Matching da solução base para Porto

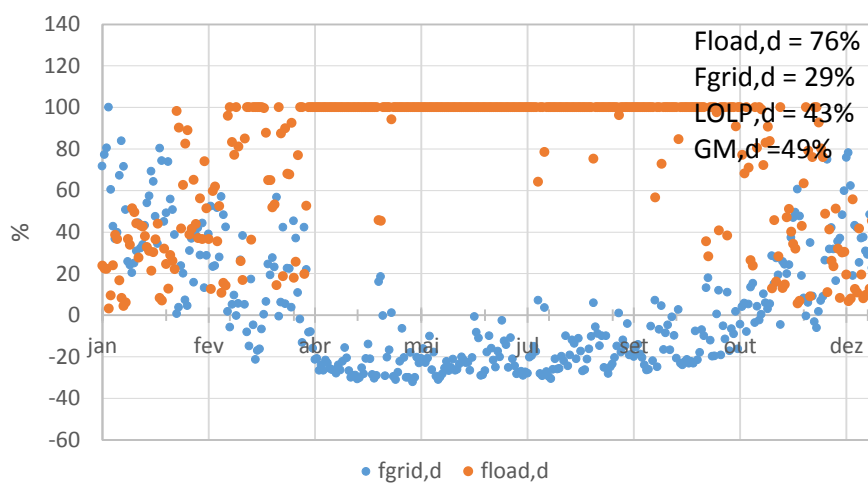


Figura 4.6 - Load Matching da solução otimizada para Porto

## 5. Conclusões

A realização desta dissertação, que teve como objetivo diminuir a diferença entre a geração e a procura de energia através da gestão temporal das cargas, reforça a influência do lugar de implementação do edifício no consumo de energia. Os edifícios construídos em lugares com grandes incidências de radiação solar no inverno, têm menos necessidades de climatização e necessitam de um número menor de painéis solares para produzir a mesma energia que os edifícios situados em locais com incidência solar baixa.

Pela figura 5.1 constata-se que a zona climática com maior exportação de energia é Faro, seguindo de Lisboa. Porto é a zona que menos produz energia, de facto a energia que é produzida é inferior a energia importada, levando a que a solução base e otimizada situada nesta zona não resulte num NZEB.

As soluções de otimização encontradas pelo programa GenOpt fazem reduzir até 30% a energia consumida proveniente da Rede Elétrica de Serviço Público. O termoacumulador funciona em todas as situações, expeto em porto na época de aquecimento, às 10:00 horas

Na época de aquecimento é preferível aquecer o edifício depois das 12:00 horas, enquanto que na época de arrefecimento é preferir diminuir a temperatura o mais cedo possível, em todas as zonas a diminuição da temperatura acontece às 07:00 horas. Pelos quadros 4.4 e 4.7 constata-se que a temperatura do termóstato volta a estar definida nos 25°C, isto acontece porque nestas zonas a diminuição de temperatura nas horas de produção de eletricidade aumenta o consumo de eletricidade, neste período a necessidade de arrefecimento é maior e se a temperatura do termóstato for reduzida causa um aumento de consumo para satisfazer as necessidades, em faro a produção de energia é maior o aumento do consumo não faz aumentar a energia importada.

Em faro ocorre a solução mais eficiente na redução da eletricidade importada para a época de inverno e verão, porque existe mais energia disponível para a execução da otimização.

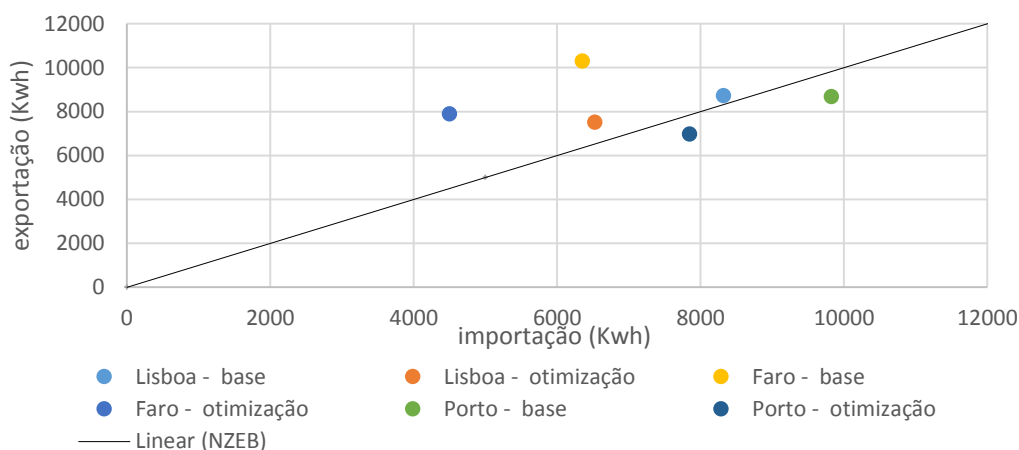


Figura 5.1 - importação VS exportação (NZEB)

A redução do consumo não se reflete muito nos indicadores utilizados, porque estes não avaliam a quantidade de energia consumida fora da zona de produção de energia, como foi mencionado anteriormente servem para descrever o grau de utilização da energia gerada no local para satisfazer o consumo de energia.

Infelizmente não foi possível otimizar o período do funcionamento das restantes máquinas utilizando o programa GenOpt, contudo pelos perfis de cargas constata-se que na época de arrefecimento é possível deslocar o funcionamento destas cargas para dentro da curva de produção, na época de aquecimento o deslocamento para dentro da curva de produção não será possível visto que a energia produzida é quase toda utilizada para a climatização.

Finalizando salienta-se a importância tanto a nível económico e ambiental da necessidade de reduzir os consumos provenientes da rede elétrica e aumentar o consumo de energia renovável.

### **5.1. Desenvolvimentos futuros**

Esta dissertação pode vir a ser aperfeiçoada otimizando o funcionamento das cargas da máquina de lavar roupa, secar roupa, lavar loiça e do forno, propõe-se que nos próximos estudos sejam realizados por investigadores com conhecimentos de java capazes de introduzirem dependências entre as variáveis independentes introduzindo assim os perfis dos equipamentos elétricos, para alcançar assim uma otimização mais completa.

Propõe-se que os próximos trabalhos realizados sobre esta temática realizem os seguintes estudos:

- Otimização de edifício concreto, monitorizando todos os equipamentos do edifício, hábitos dos ocupantes resultaria num estudo mais rigoroso e interessante;
- Introdução de mais perfis de carga, tais como a televisão e o micro-ondas;
- Estudo da diminuição da importação de energia em edifícios com soluções construtivas otimizadas;
- Estudo da orientação dos painéis fotovoltaicos, seria interessante a consideração da orientação como variáveis independente no estudo da diminuição energia importada;
- Ter em conta o custo de energia importada na otimização.

## 6. Bibliografia

1. Diário da República, 1.<sup>a</sup> série – N°97 – 20 de maio de 2008
2. Diário da república, 1.<sup>a</sup> série – N°202 – 20 de outubro de 2014
3. Diário da república, 1.<sup>a</sup> série – N°16 – 23 de janeiro de 2015
4. Diário da república, 2.<sup>a</sup> série – N°234 – 3 de dezembro de 2013
5. Cardoso, Filipa – Flexibilidade, a evolução natural dos NZEB (Edifícios e Energia). Edifícios e Energia, 2015. <http://docentes.fct.unl.pt/aelenei/links/flexibilidade-evolucao-natural-dos-nzeb-edificios-e-energia>
6. AELENEI, Daniel et al – Design strategies for non-residential zero-energy building: lessons learned from Task40/Annex 52: towards net zero-energy solar buildings. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2013. <http://hdl.handle.net/10400.9/2286> (30/05/2016).
7. AELENEI, Daniel et al – Edifícios de balanço energético nulo: uma síntese das características principais. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 2013. <http://hdl.handle.net/10400.9/2282> (30/05/2016).
8. Jensen, Søren; Marszal-Pomianowska, Anna – IEA EBC Annex 67 Energy Flexible Buildings. Denmark, Aalborg Universitet, 2016. [http://vbn.aau.dk/files/233817779/paper\\_325.pdf](http://vbn.aau.dk/files/233817779/paper_325.pdf) (05/06/2016).
9. APEA – REA 2013: Portugal Cumpre Metas de Quioto, 2013. <http://www.apea.pt/scid/webapea/defaultArticleViewOne.asp?categoryID=740&articleID=2965> (05/06/2016).
10. APREN – Linhas estratégias para a revisão dos Planos Nacionais de Ação para as Energias Renováveis e eficiências Energéticas, 2012. [http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/Linhas%20de%20orientacao%20para%20a%20revisao%20dos%20Planos%20Nacionais%20de%20Acao%20para%20as%20Energias%20Renovaveis%20e%20para%20a%20Eficiencia%20Energetica\\_V2.pdf](http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/Linhas%20de%20orientacao%20para%20a%20revisao%20dos%20Planos%20Nacionais%20de%20Acao%20para%20as%20Energias%20Renovaveis%20e%20para%20a%20Eficiencia%20Energetica_V2.pdf) (06/12/2015).  
Direção-Geral de Energia e Geologia – Energia em Portugal, 2013. [http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/energiapt\\_2013\\_dgeg\\_1433429705.pdf](http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/energiapt_2013_dgeg_1433429705.pdf) (06/12/2015).
11. ANNEX 42 – European and Canadian non-HVAC Electric and DHW Load Profiles for Use in Smilating the Performance of Residential Cogeneration Systems, 2007. [http://www.ecbcs.org/docs/Annex\\_42\\_Domestic\\_Energy\\_Profiles.pdf](http://www.ecbcs.org/docs/Annex_42_Domestic_Energy_Profiles.pdf) (06/12/2015).

12. EcoCasa – Equipamentos standby e off-mode, 2014. [http://www.ecocasa.pt/energia\\_content.php?id=8](http://www.ecocasa.pt/energia_content.php?id=8) (23/12/2015).
13. DECOJovem, Conselhos para a eficiência energética. <http://decojovem.pt/energia/conselhos-para-a-eficiencia-energetica/> (23/05/2016).
14. EDP – Dicas de eficiência energética, 2012. <https://www.edp.pt/pt/particulares/bemvindoaedp/Guia%20Eficiencia%20Energetica/Guia%20da%20Efici%C3%Aancia%20Ener%C3%A9tica.pdf> (28/03/2016).
15. DELGADO, Aline – 25 Dicas para uma casa mais sustentável, 2009. <http://ecowise.elementos.com.pt/pt/eficiencia-energetica/dicas-para-a-construcao> (23/05/2016).
16. Município de cabeceiras de Basto – como diminuir o consumo energético no uso de termoacumulador e esquentador, 2012. <http://cabeceirasdebasto.pt/6444> (28/03/2016).
17. Ecocasa – iluminação tipo de lâmpadas, 2014. [http://www.ecocasa.pt/energia\\_content.php?id=1](http://www.ecocasa.pt/energia_content.php?id=1) (18/02/2016).
18. Cintinâmica soluções energéticas – Enquadramento do novo regime de produção distribuída, 2014. [http://www.cintinamica.pt/autoconsumo\\_fotovoltaiico/enquadramento\\_do\\_novo\\_regime\\_de\\_producao\\_distribuicao\\_da.pdf](http://www.cintinamica.pt/autoconsumo_fotovoltaiico/enquadramento_do_novo_regime_de_producao_distribuicao_da.pdf) (05/06/2016).
19. Eem – escalões de potência, 2015. <https://www.eem.pt/pt/conteudo/clientes/contrata%C3%A7%C3%A3o/escal%C3%B5es-de-pot%C3%Aancia/> (28/03/2016).
20. EDP – simulador de potência, tarifas e consumos – mercado regulado. <http://www.edp.pt/pt/particulares/bemvindoaedp/Documents/Flash.htm#home> (28/03/2016).
21. ERSE – preços de referência no mercado liberalizado de energia elétrica e gás natural em Portugal continental. [http://www.erse.pt/pt/Simuladores/Documents/Pre%C3%A7os\\_Ref\\_BTN.pdf](http://www.erse.pt/pt/Simuladores/Documents/Pre%C3%A7os_Ref_BTN.pdf) (28/03/2016).
22. Edpsu – Horários Baixa Tensão Normal. <https://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/horarios/Pages/HorariosBTN.aspx> (28/03/2016).
23. EDP – Guia prático da eficiência energética. [http://ws.cgd.pt/blog/pdf/guia\\_edp.pdf](http://ws.cgd.pt/blog/pdf/guia_edp.pdf) (23/05/2016).



24. EDP – Rotulagem de energia elétrica, 2014. <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Folhetos%20de%20Rotulagem/Rotulagem%20de%20energia%20el%C3%A9trica%20EDP%20SU%202014.pdf> (18/02/2016).
25. BUILD UP SKILLS – projeto BUILD-UP SKILLS Portugal, 2012. [http://www.lneg.pt/download/6668/Draft%20of%20analysis%20report%20of%20national%20status%20quo\\_May\\_2012\\_PT.pdf](http://www.lneg.pt/download/6668/Draft%20of%20analysis%20report%20of%20national%20status%20quo_May_2012_PT.pdf) (28/03/2016).
26. Urvil's Automation and EnergyConservation – Building Management System. <https://urvil.wordpress.com/bms-building-management-system/> (08/05/2016).
27. COURAS, Ivan – Gestão técnica de edifícios Aplicação em edifício escolar. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2011. [http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/2587/1/DM\\_IvanCouras\\_2011\\_MEESE.pdf](http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/2587/1/DM_IvanCouras_2011_MEESE.pdf) (02/05/2016).
28. Edifícios e Energia – Gestão técnica centralizada – um enorme potencial de poupança, 2013. <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/tema-capa> (24/05/2016).
29. KNX – Eficiência energética em edifícios com KNX: os benefícios da automação, 2013. <http://www.abb.pt/cawp/seitp202/701bddcaead1ac9883257c2e0042a5c3.aspx> (02/05/2016).
30. KNX – White Paper KNX Demand Side Management, 2013. <https://www.knx.org/media/docs/Flyers/KNX-Demand-Side-Management-White-Paper/KNX-Demand-Side-Management-White-Paper.pdf> (11/05/2016).
31. FERREIRA, Gabriela - Energia geotérmica e sistemas de climatização, 2014. [http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier\\_artigo/gabrielaferreira\\_1510703361545ba7e58eaef.pdf](http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/gabrielaferreira_1510703361545ba7e58eaef.pdf) (03/07/2016).
32. EcoCasa – Projeto EcoFamília Relatório Final, Abril de 2008. [http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/documentacao/relatorios\\_projectos/Programa%20EcoFam%C3%ADlias225.pdf](http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/documentacao/relatorios_projectos/Programa%20EcoFam%C3%ADlias225.pdf) (28/03/2016).
33. EcoCasa – Projeto EcoCasa – Energia II, Novembro de 2008. [http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/documentacao/relatorios\\_ecocasa/Relatorio\\_EcoCasa\\_II.pdf](http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/documentacao/relatorios_ecocasa/Relatorio_EcoCasa_II.pdf) (28/03/2016).
34. Viridian ecotecnologia – tecnologia/energia solar fotovoltaico <http://www.viridian.com.br/tecnologia/energia+solar+fotovoltaica/4> (06/05/2016).

35. FEUP – efeito fotovoltaico, 2002.  
[http://paginas.fe.up.pt/~ee97234/efeito\\_fotovoltico.htm](http://paginas.fe.up.pt/~ee97234/efeito_fotovoltico.htm) (23/05/2016).
36. J A Clarke, P P Yaneske, A A Pinney – The Harmonisation of Thermal Properties of Building Materials. Watford, University of Strathclyde, 2007.  
[http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/89/thermop\\_rep.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/89/thermop_rep.pdf) (19/02/2016).
37. Virginia Tech Advanced Research Institute – Research Institute | ARI.  
<http://www.ari.vt.edu/research-data/> (28/03/2016).
38. PIPATTANASOMPORN, Manisa; KUZLU, Murat; RAHMAN, Saifur; TEKLU, Yonael – Load Profiles of Selected Major Household Appliances and Their Demand Response Opportunities, 2013. [http://www.cimap.vt.edu/files/US-ChinaWorkshop2014/style/resources/2013\\_MeasurementPaper.pdf](http://www.cimap.vt.edu/files/US-ChinaWorkshop2014/style/resources/2013_MeasurementPaper.pdf) (24/05/2016).
39. Project EURECO – DEMAND SIDE MANAGEMENT End-use metering campaign in 400 households of the European Community Assessment of the Potential Electricity Savings, 2002. [http://www.eerg.it/resource/pages/it/Progetti\\_-\\_MICENE/finalreporteureco2002.pdf](http://www.eerg.it/resource/pages/it/Progetti_-_MICENE/finalreporteureco2002.pdf) (24/05/2016).
40. Net Green Developments – Perfil de consumo água quente durante 24 horas, 2013. [http://www.netgreensolar.com/netgreen\\_heat\\_promo/body/images/costs\\_savings/profiles/hw\\_24hr\\_profile.PNG](http://www.netgreensolar.com/netgreen_heat_promo/body/images/costs_savings/profiles/hw_24hr_profile.PNG) (29/05/2016).
41. EcoCasa – Dentro de máquina de lavar, 2006. [http://www.ecocasa.pt/agua\\_content.php?id=41](http://www.ecocasa.pt/agua_content.php?id=41) (25/05/2016).
42. Planetazul – consumo de água, 2009. <http://www.planetazul.pt/edicoes1/planetazul/desenvArtigo.aspx?c=2249&a=15762&r=37> (25/05/2016).
43. EcoCasa – Dentro de casa-chuveiro. [http://www.ecocasa.pt/agua\\_content.php?id=39](http://www.ecocasa.pt/agua_content.php?id=39) (25/05/2016).
44. IBERDROLA – conselhos de poupança. <http://www.iberdrola.pt/02sicb/corporativa/iberdrola/sobre-nos/eficiencia-energetica/conselhos-poupanca> (06/06/2016).
45. FRACCHETTA, Alexandre – Aquecedor a gás, o que considerar na hora da escolha, 2013. <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=18&Cod=1206> (22/05/2016).
46. LUTZ, James; LIU, Xiaomin; MCMAHON, James; DUNHAM, Camilla; SHOWN, Leslie; MCGRUE, Quandra – Modeling patterns of hot water use in households, November 1996.  
[https://ees.lbl.gov/sites/all/files/modeling\\_patterns\\_of\\_hot\\_water\\_use\\_in\\_households\\_lbl-37805\\_rev.pdf](https://ees.lbl.gov/sites/all/files/modeling_patterns_of_hot_water_use_in_households_lbl-37805_rev.pdf) (29/05/2016).

47. Ferreira, Ana – Estudo de soluções de otimização para edifícios de balanço energético nulo, \_\_\_\_ 2012. [https://run.unl.pt/bitstream/10362/8655/1/Ferreira\\_2012.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/8655/1/Ferreira_2012.pdf) (10/12/2015).
48. Vítor M. – Painéis solares estão a ser instalados de forma errada, 2014. <http://pplware.sapo.pt/gadgets/high-tech/paineis-solares-estao-a-ser-instalados-de-forma-errada/> (05/03/2016).
49. CENFIM – Energia solar – conversão térmica, 2009. [http://www.cenfim.pt/artigos/2009/energia\\_solar.pdf](http://www.cenfim.pt/artigos/2009/energia_solar.pdf) (04/03/2016).
50. PVGIS – <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> (03/06/2016).
51. GOSOLARCALIFORNIA.ORG – PV POWERED PVP30KW-208, 2007. [http://www.gosolarcalifornia.org/equipment/inverter\\_tests/summaries/PV%20Powered%20PVP30KW-208.pdf](http://www.gosolarcalifornia.org/equipment/inverter_tests/summaries/PV%20Powered%20PVP30KW-208.pdf) (28/05/2016).
52. D.L King, W.E Boyson, J.A. Kratochvill – Photovoltaic Array Performance Model, 2004. <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2004/043535.pdf> (28/05/2016).
53. DesignBuilder – Electric Load Center, 2014. <http://www.designbuilder.co.uk/helpv4.0/Content/ElectricLoadDistribution.htm> (28/05/2016).
54. SOARES, Ana – gestão integrada de recursos energéticos – contextualização e análise, 2011. [https://eg.sib.uc.pt/bitstream/10316/20188/1/Ana\\_Soares\\_2010166266\\_2011\\_DM.pdf](https://eg.sib.uc.pt/bitstream/10316/20188/1/Ana_Soares_2010166266_2011_DM.pdf) (11/05/2016).
55. SICILIANO, Alexandre – Algoritmos genéticos e Particle Swarm Optimization e suas aplicações problemas de Guerra eletrônica. Diretoria de Sistemas de Armas da marinha, s/d. [http://www.sige.ita.br/anais/IXSIGE/Artigos/GE\\_56.pdf](http://www.sige.ita.br/anais/IXSIGE/Artigos/GE_56.pdf) (22/05/2016).
56. ROSENDO, Matheus – Um algoritmo de otimização por nuvem de partículas para resolução de problemas combinatórios. [http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24862/dissertacao\\_matheus\\_rosendo.pdf;jsessionid=5A474F63B70A9AEEACD4A265803934FC?sequence=1](http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24862/dissertacao_matheus_rosendo.pdf;jsessionid=5A474F63B70A9AEEACD4A265803934FC?sequence=1) (23/05/2016).
57. MURATORI, Matteo – Dynamic Management of Integrated Residential Energy Systems, 2013. [http://wpweb2.tepper.cmu.edu/ceic/SeminarPDFs/Muratori\\_CMU2013.pdf](http://wpweb2.tepper.cmu.edu/ceic/SeminarPDFs/Muratori_CMU2013.pdf) (29/05/2016).

58. IEA Task 40 / Annex 52 - Analysis Of Load Match and Grid Interaction Indicators in NZEB with High-Resolution Data, 2013.  
[http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea\\_pdf/endbericht\\_201417\\_iea\\_shc\\_task40\\_ebc\\_annex\\_52\\_anhang05.pdf](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea_pdf/endbericht_201417_iea_shc_task40_ebc_annex_52_anhang05.pdf) (21/04/2016).
59. técnica viçosa – energia solar, s/d. <http://tecnicavicosa.pt/energiasolar.html> (23/05/2016).

## Anexo A – Perfis diários

No presente anexo se encontra ilustrados os perfis de consumo diário nos dias 02 de janeiro e 08 de agosto, dias representativos da época de aquecimento e arrefecimento, respetivamente

### A.1 Zona climática: Faro

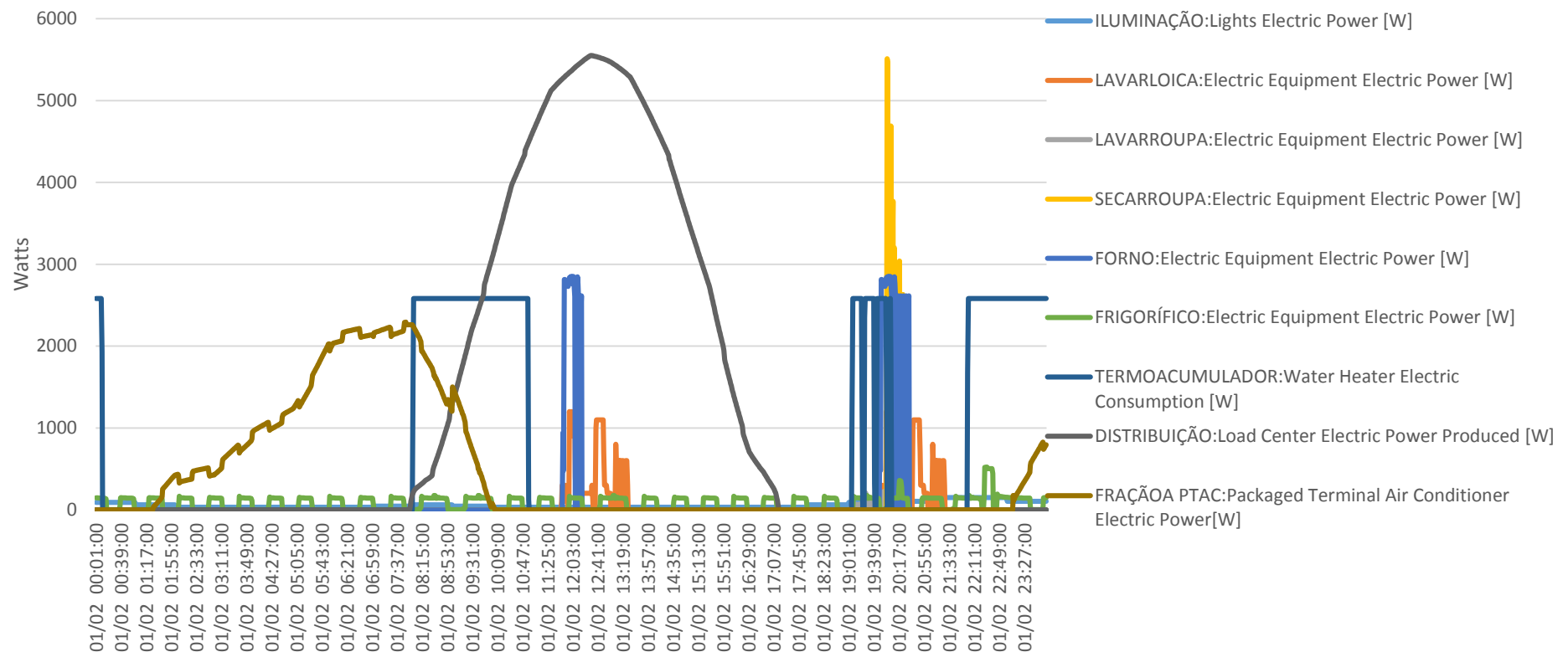


Figura A.1.1 - Perfil de carga diário da solução base para época de aquecimento - Zona climática Faro

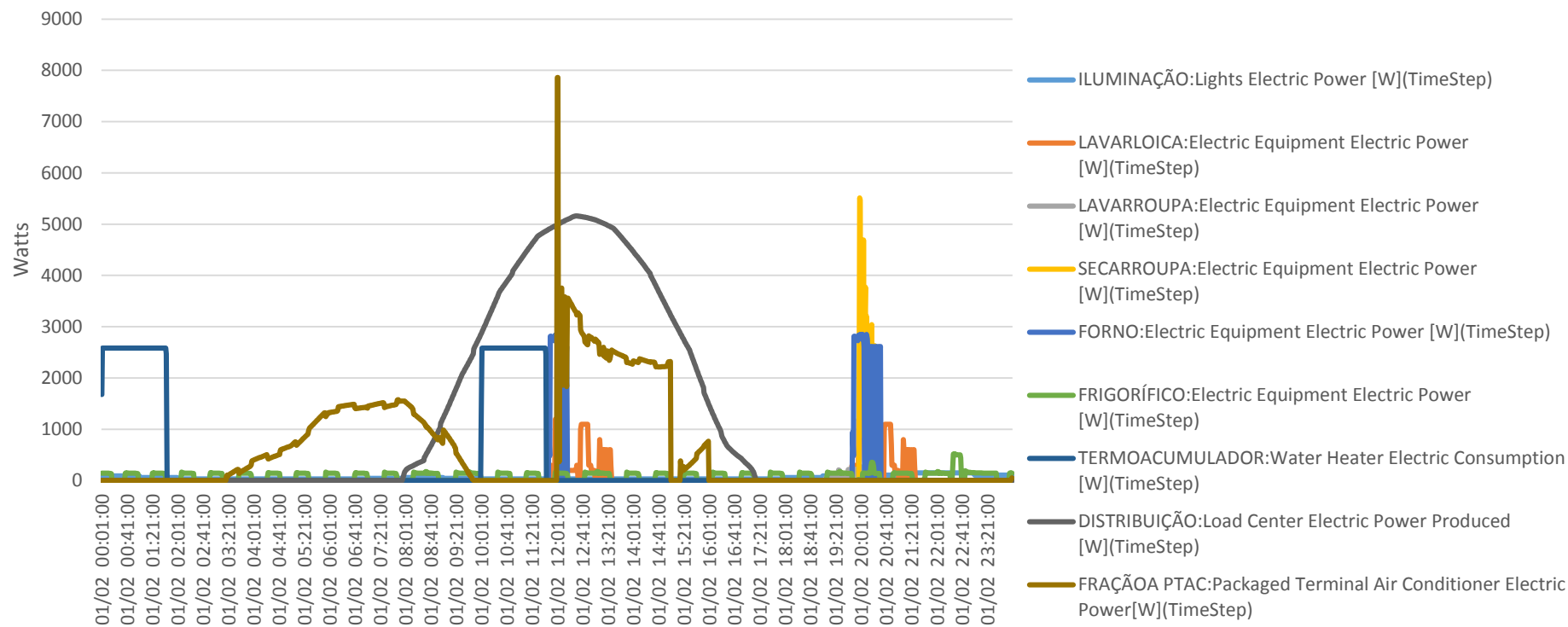


Figura A.1.2 - Perfil de carga diário da solução para época de aquecimento - Zona climática Faro

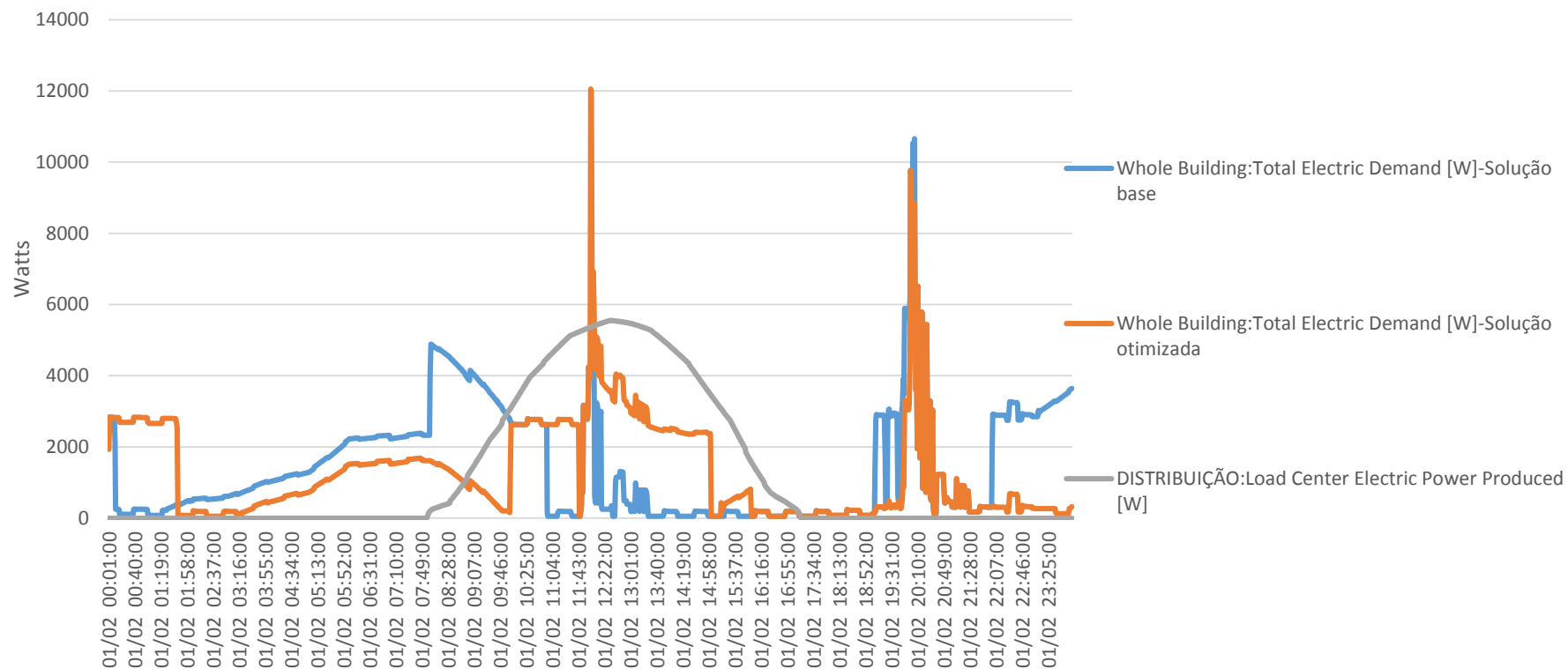


Figura A.1.3 - Perfil de carga diário total para a época de aquecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Faro

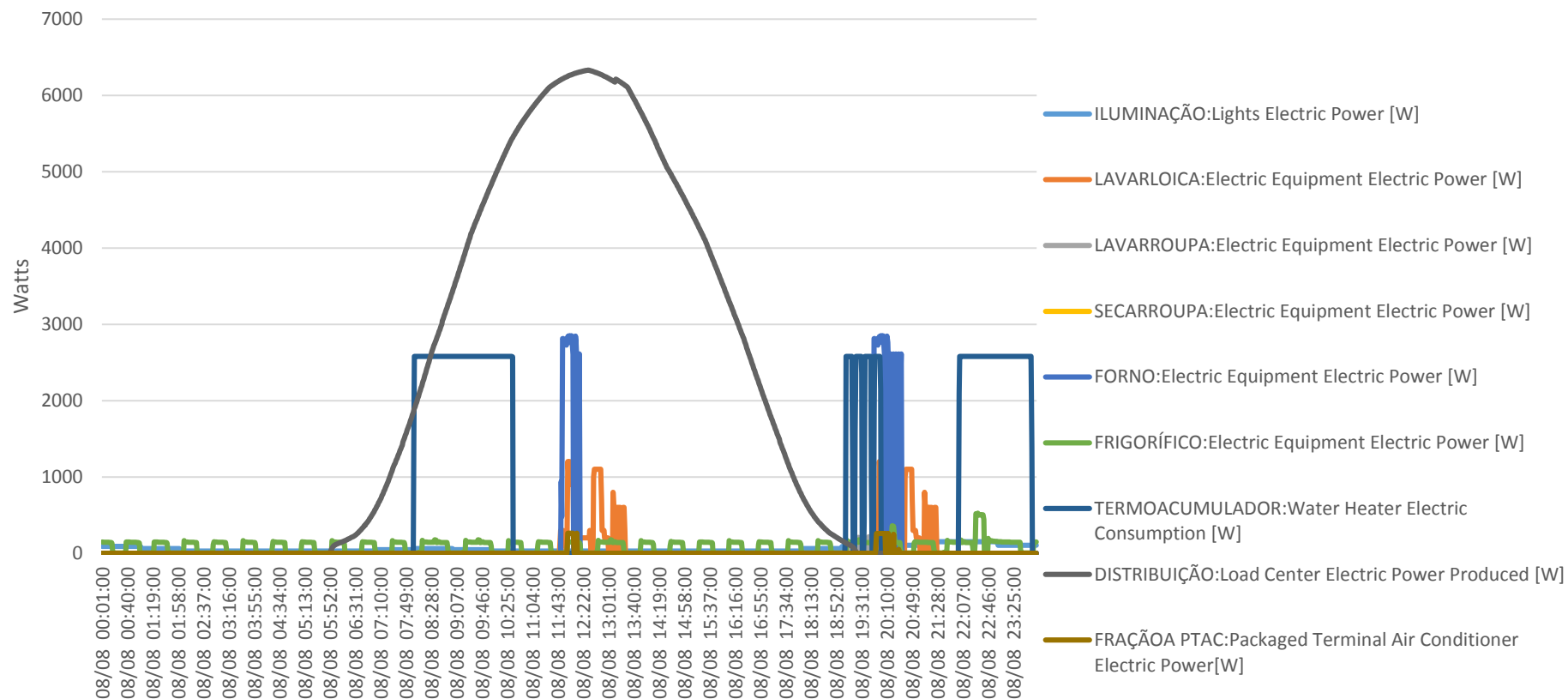


Figura A.1.4 - Perfil de carga diário para época de arrefecimento - Zona climática Faro



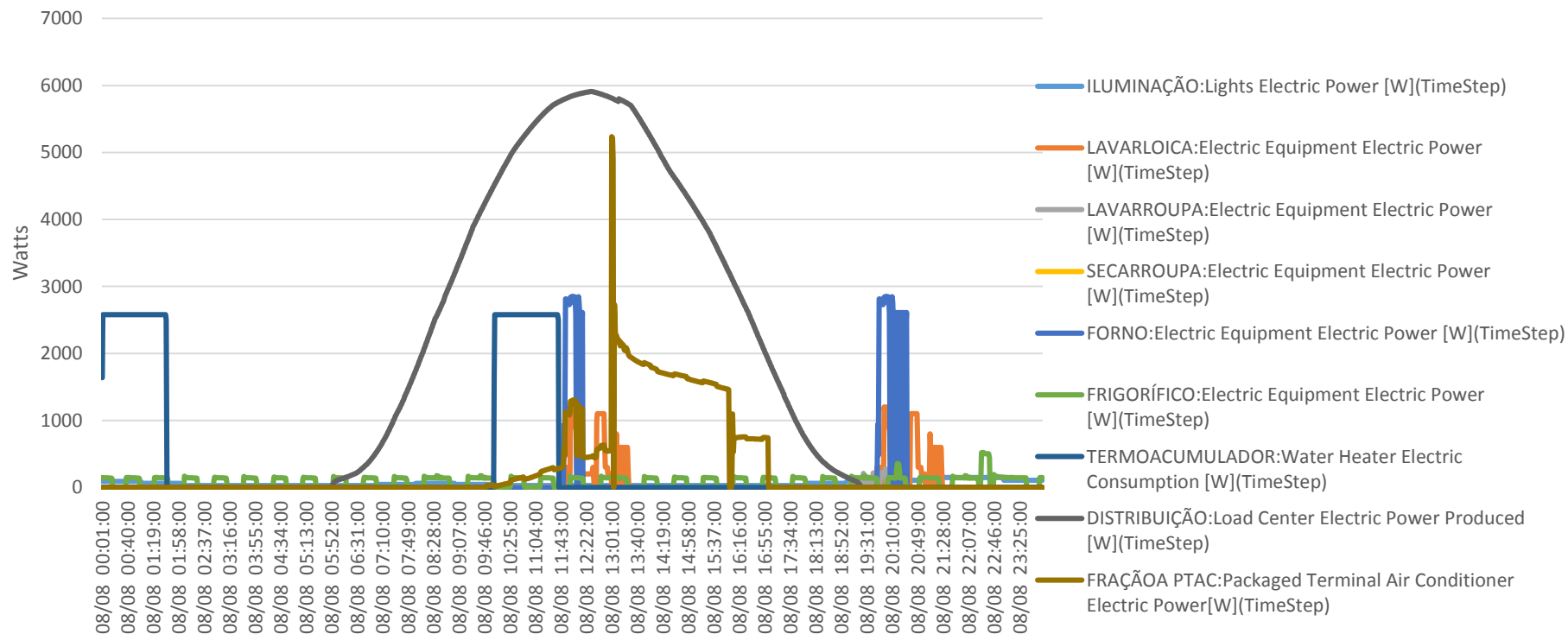


Figura A.1.5 - Perfil de carga diário da solução otimizada para época de arrefecimento - Zona climática Faro

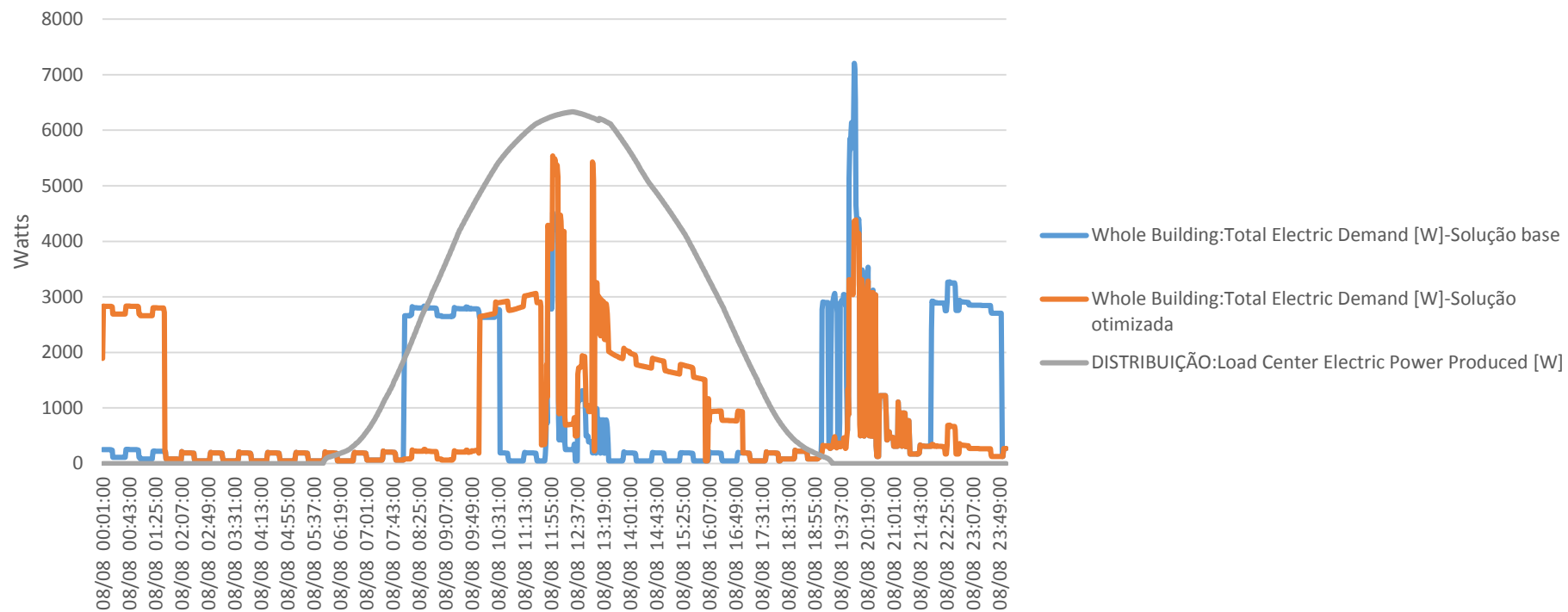


Figura A.1.6 - Perfil de carga diário total para a época de arrefecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Faro

## A.2 Zona climática: Lisboa

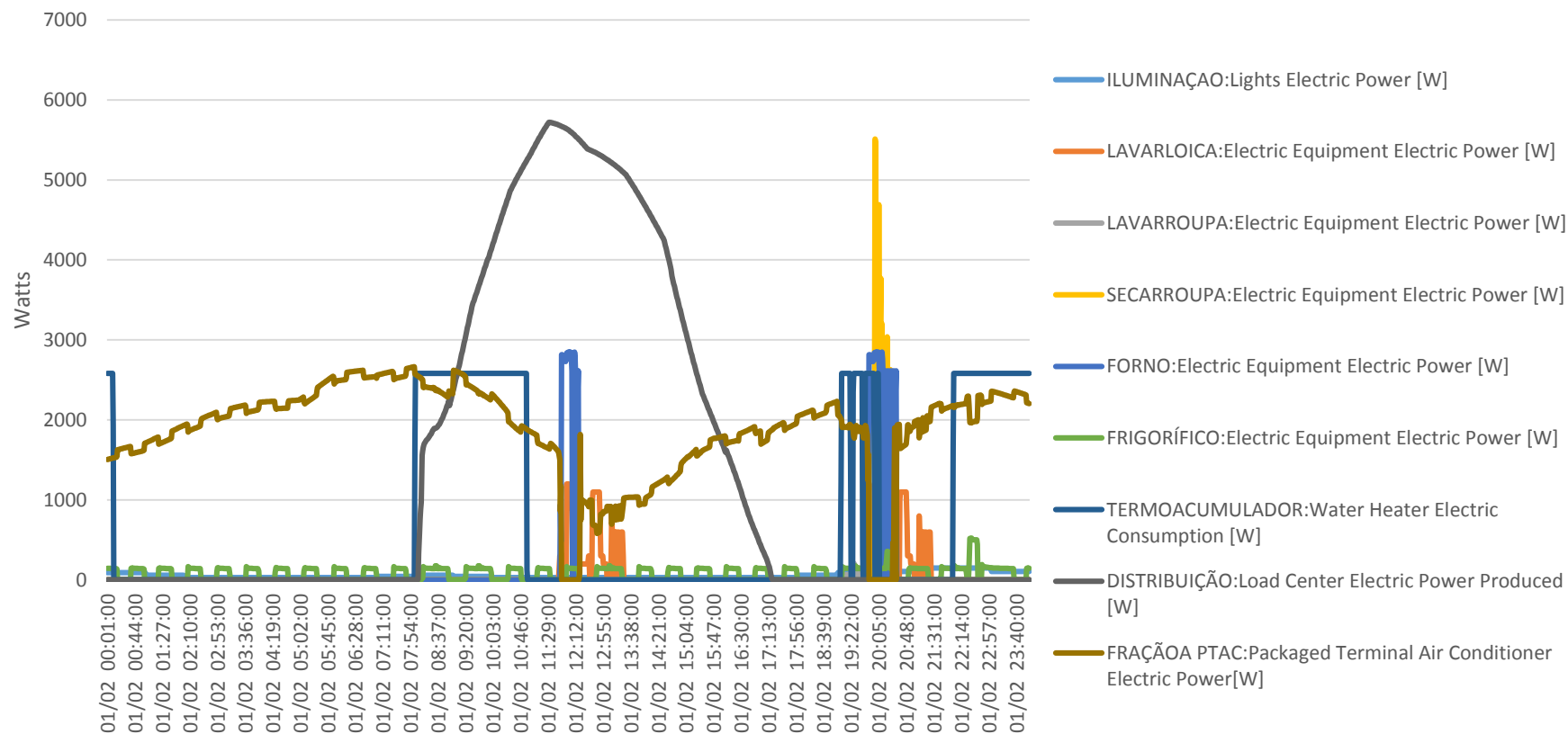


Figura A.2.1 - Perfil de carga diário da solução base para época de aquecimento - Zona climática Lisboa

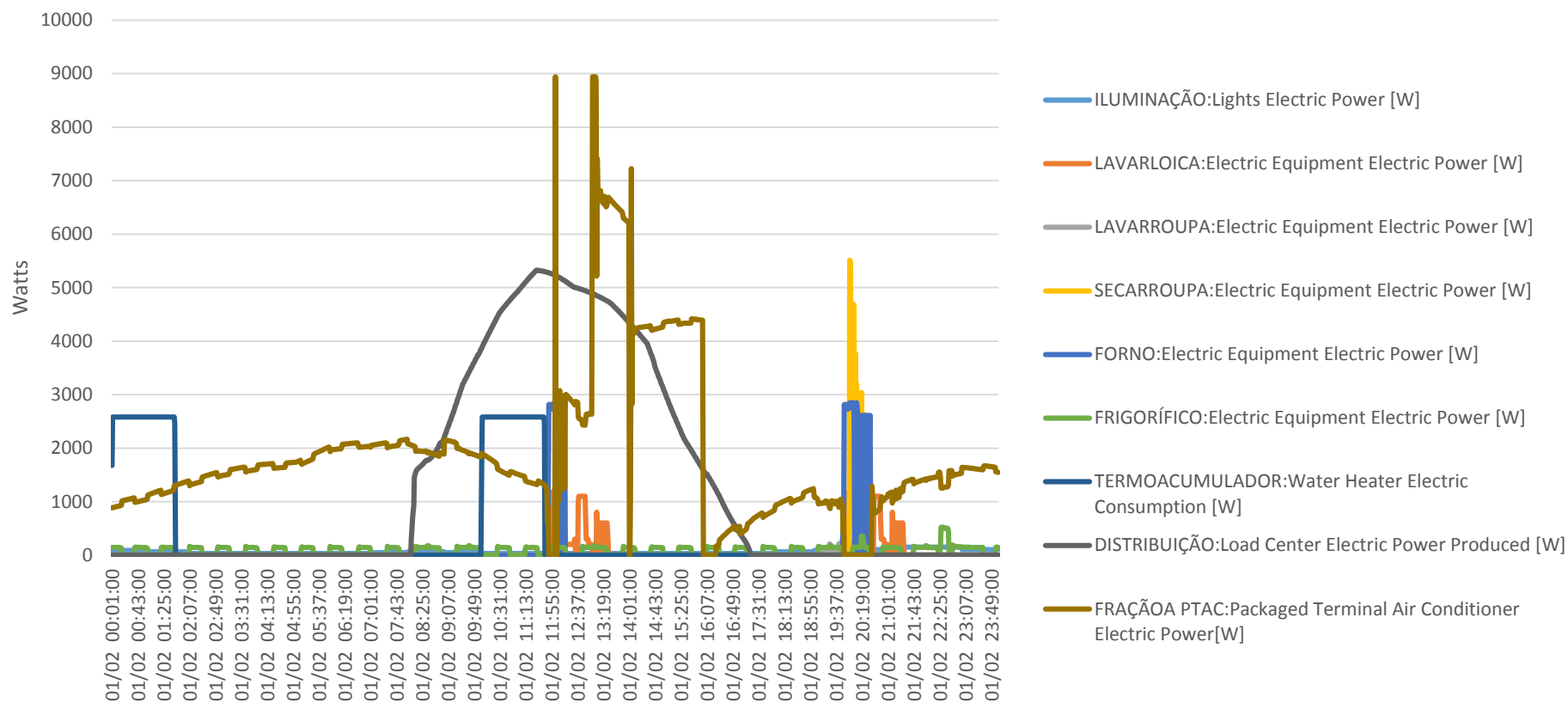


Figura A.2.2 - Perfil de carga diário da solução para época de aquecimento - Zona climática Lisboa

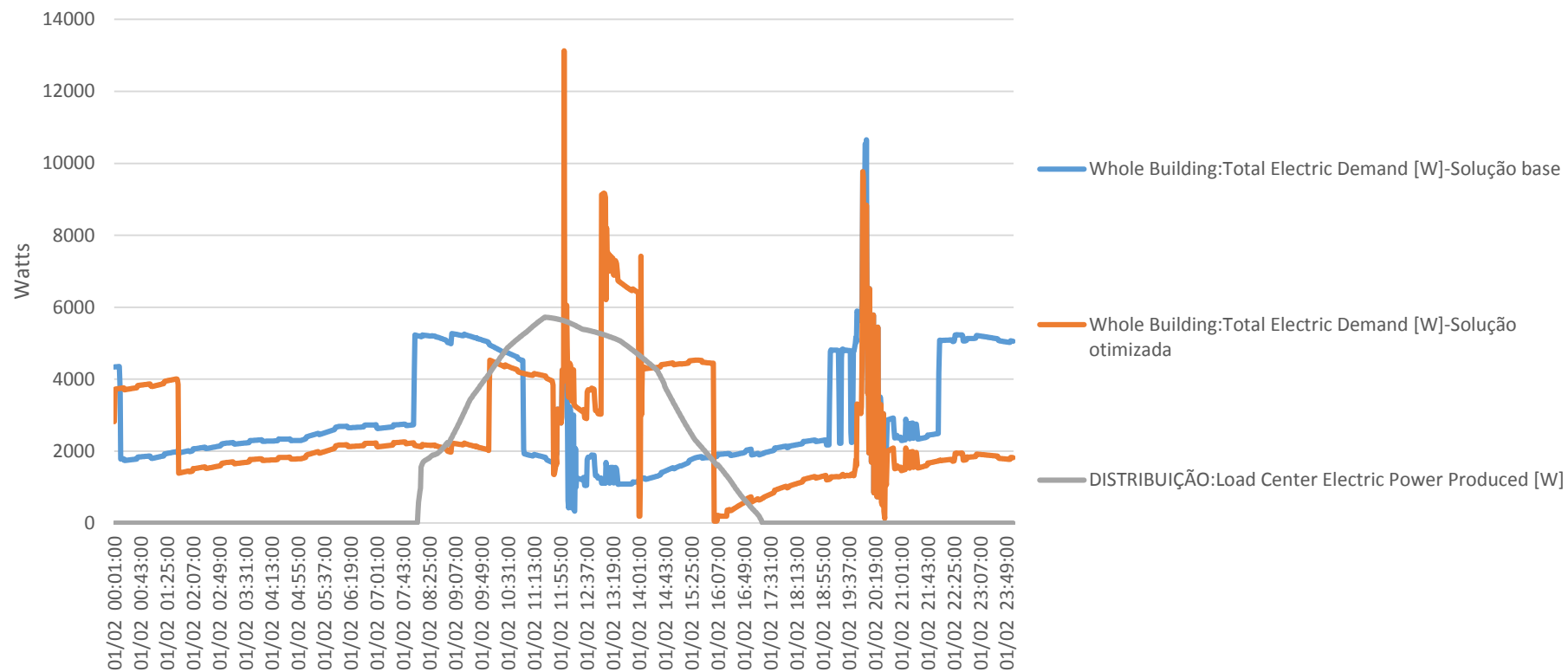


Figura A.2.3 - Perfil de carga diário total para a época de aquecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Lisboa

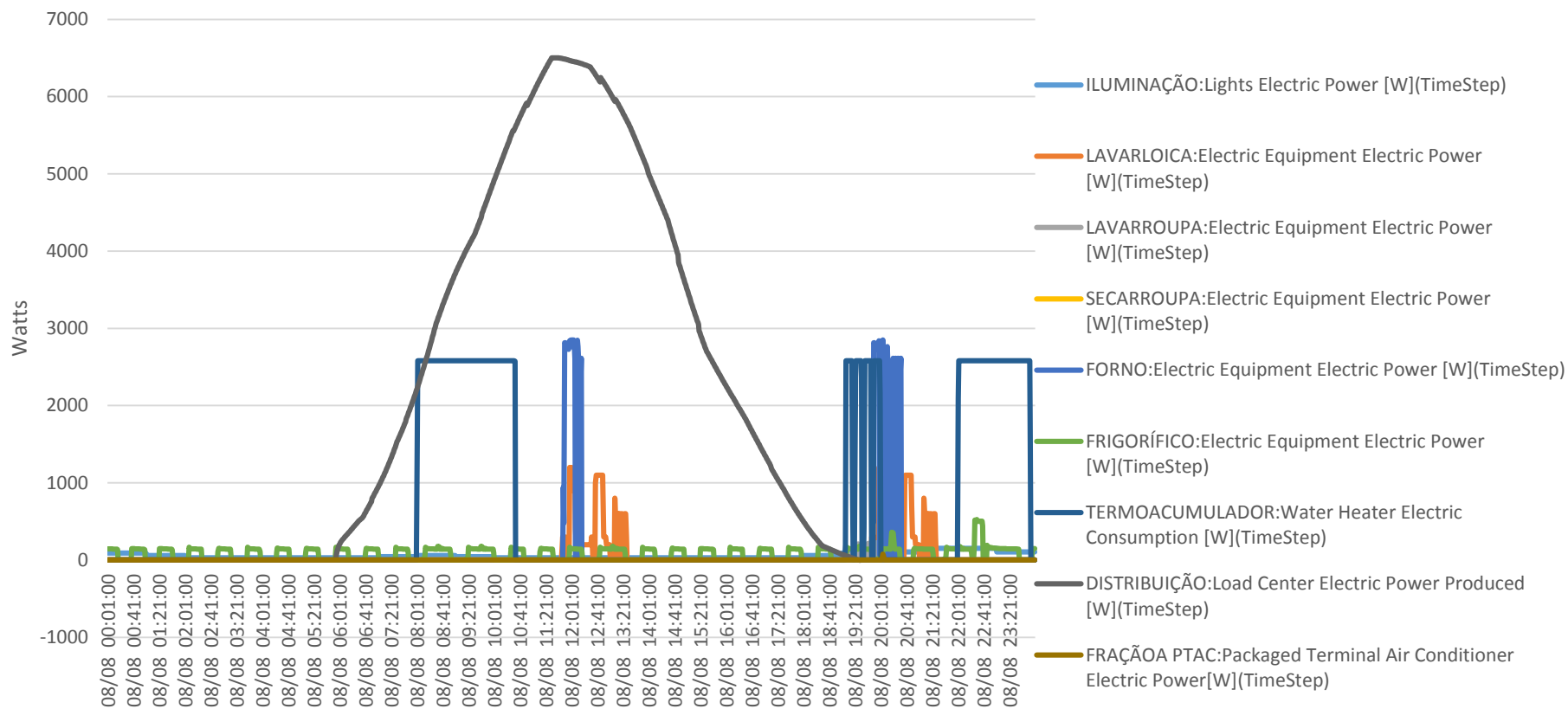


Figura A.2.4 - Perfil de carga diário para época de arrefecimento - Zona climática Lisboa

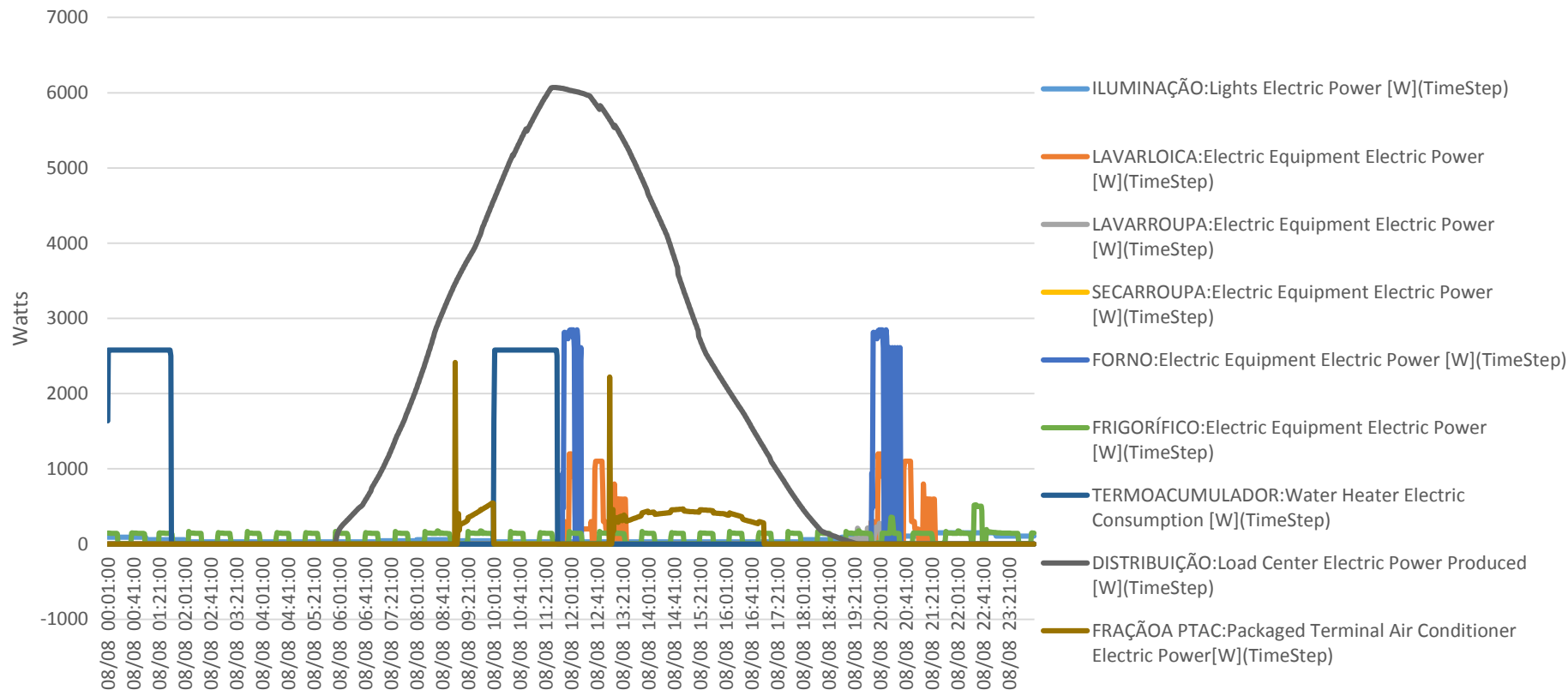


Figura A.2.5 - Perfil de carga diário da solução otimizada para época de arrefecimento - Zona climática Lisboa

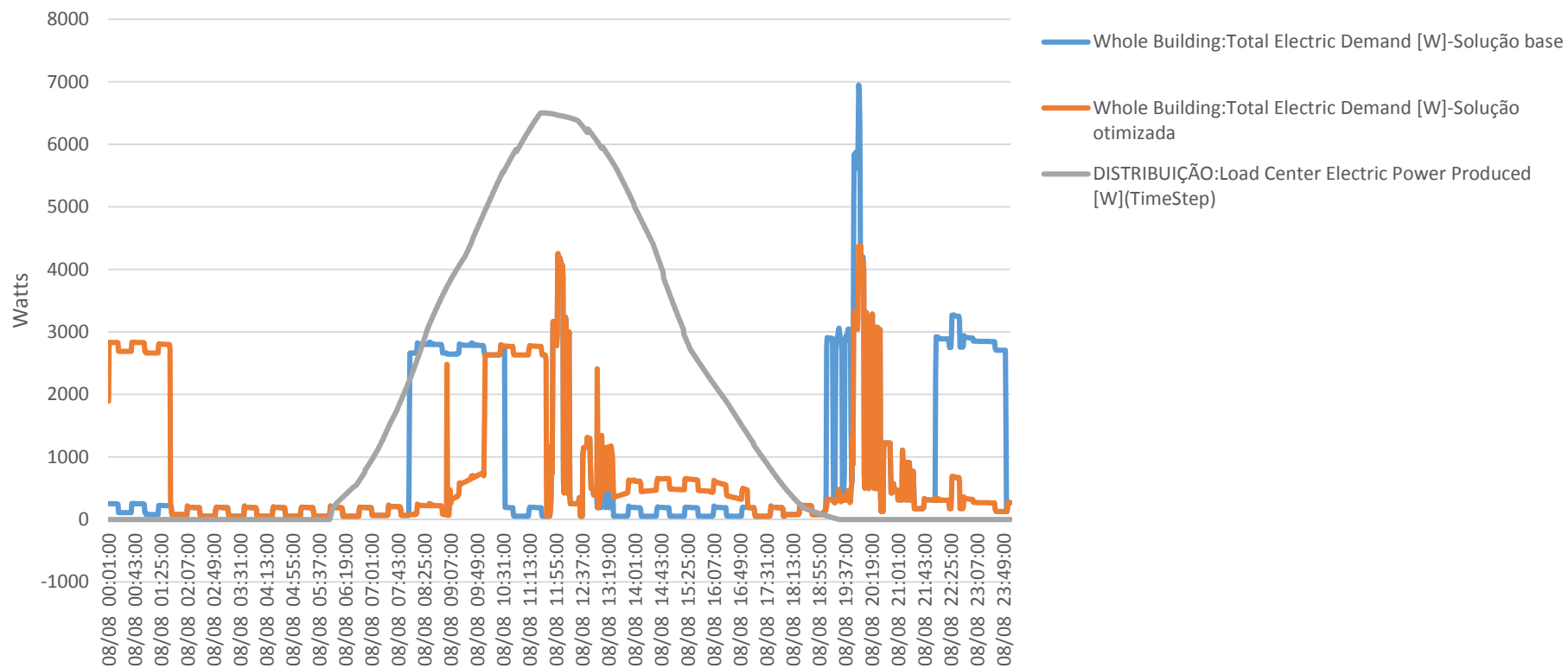


Figura A.2.6 - Perfil de carga diário total para a época de arrefecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Lisboa



### A.3 Zona climática: Porto

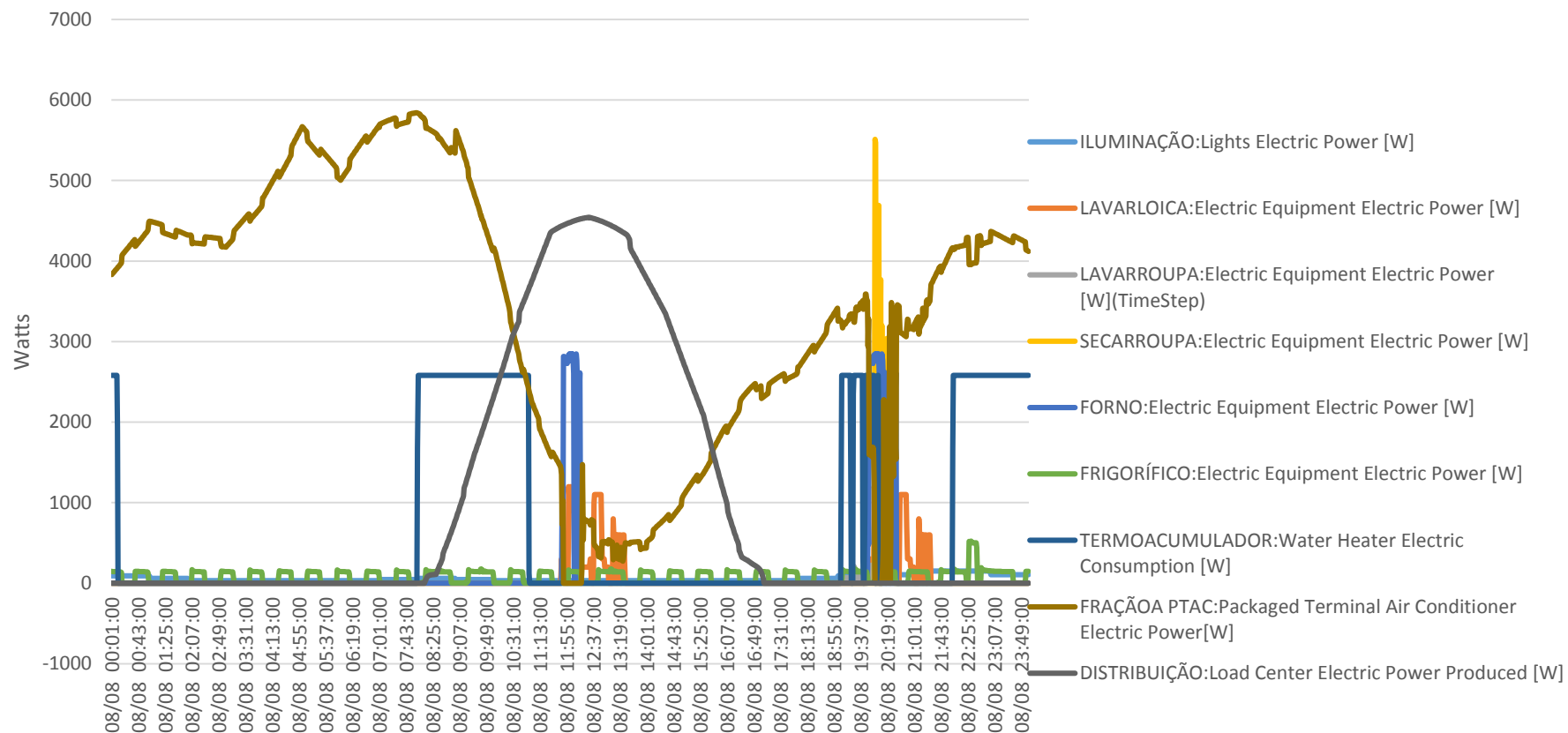


Figura A.3.1 - Perfil de carga diário da solução base para época de aquecimento - Zona climática Porto

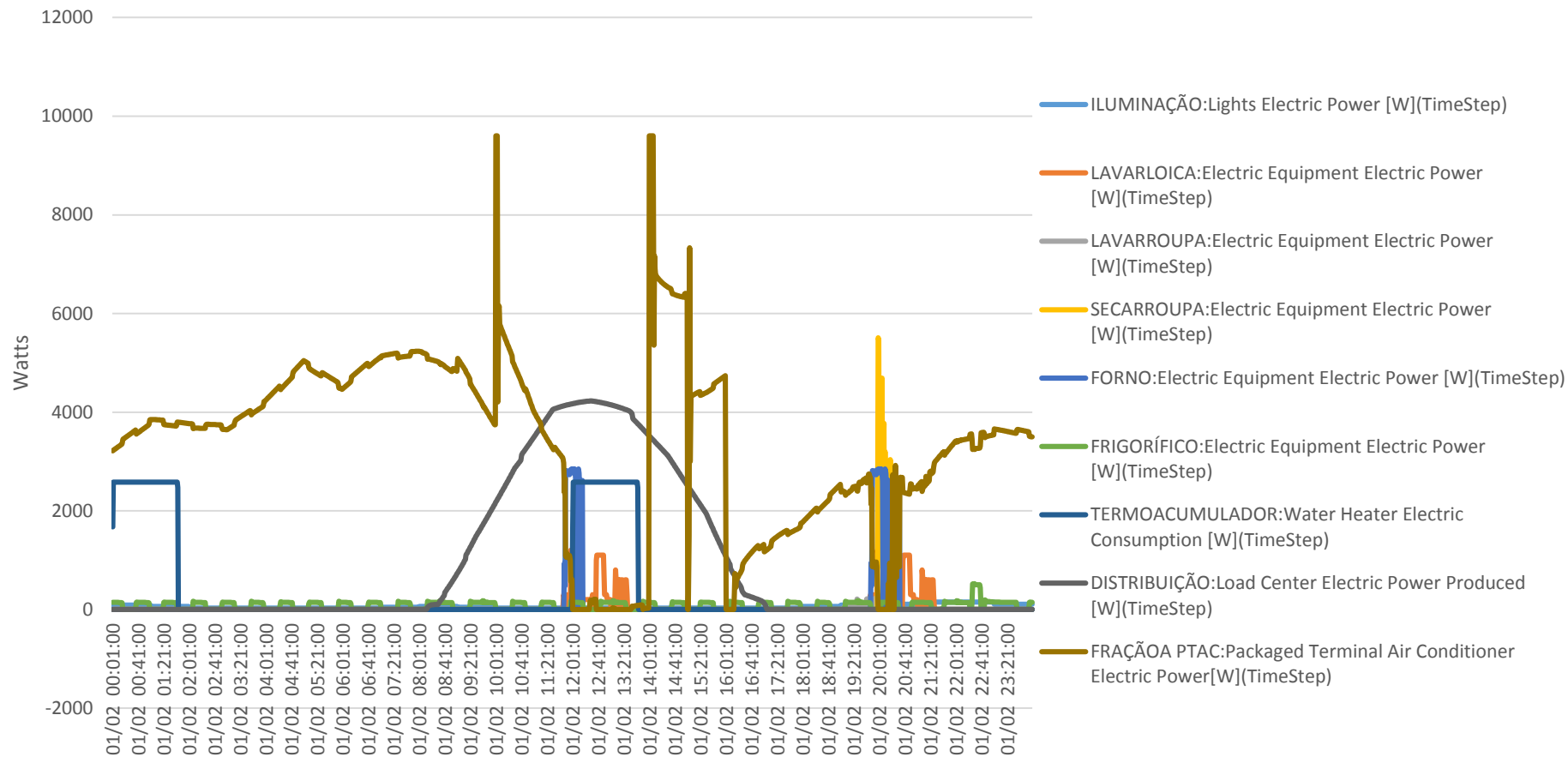


Figura A.3.2 - Perfil de carga diário da solução para época de aquecimento - Zona climática Porto



Figura A.3.3 - Perfil de carga diário total para a época de aquecimento solução base e solução otimizada - Zona climática Porto

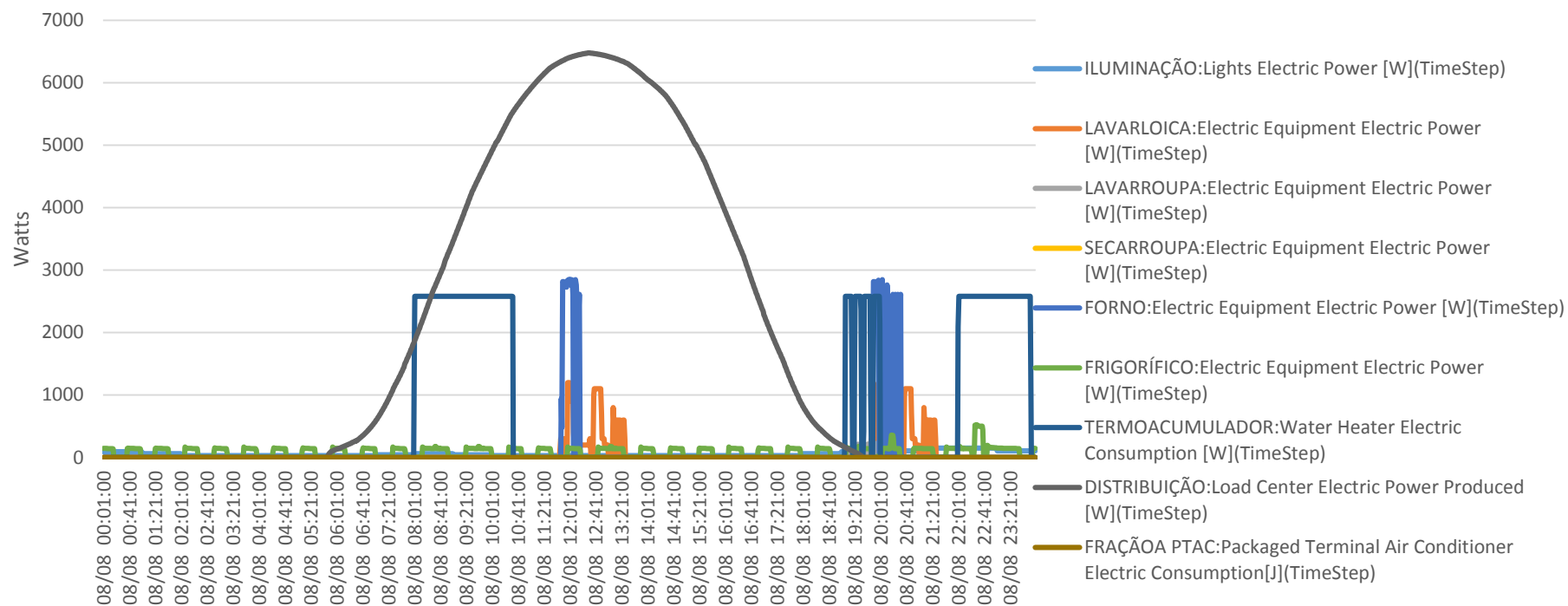


Figura A.3.4 - Perfil de carga diário para época de arrefecimento - Zona climática Porto

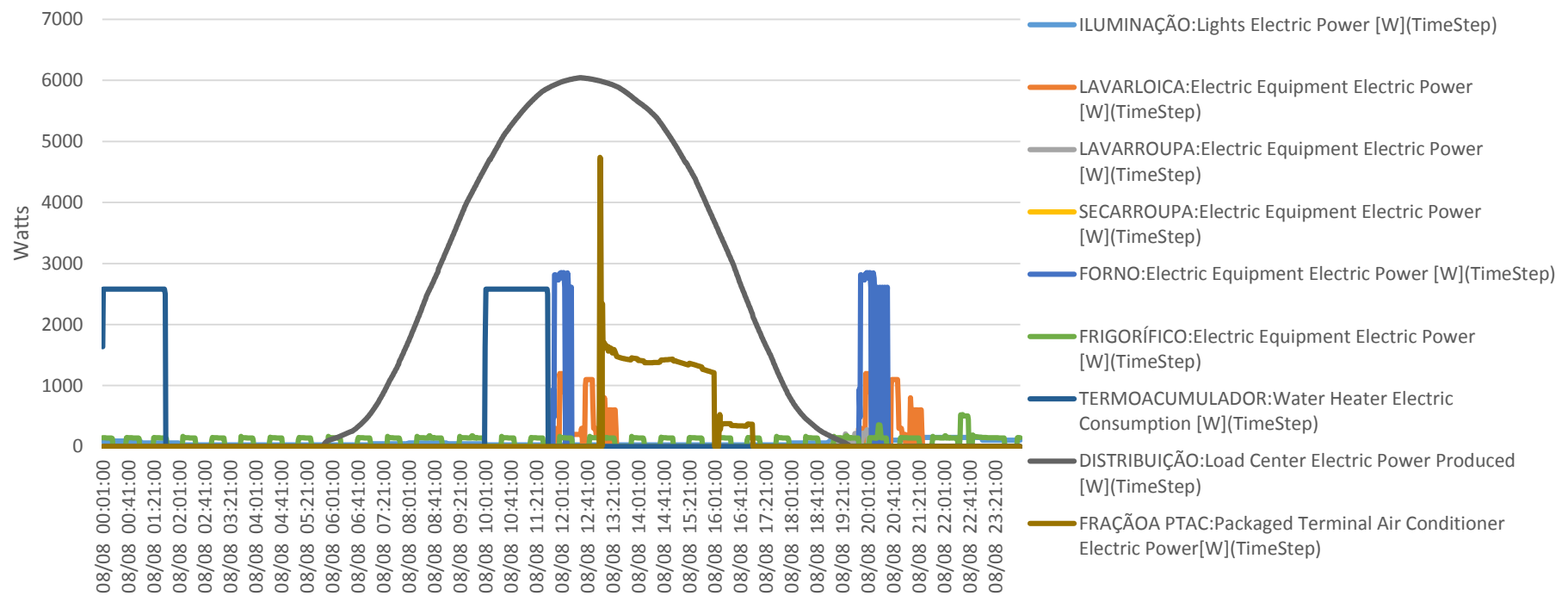


Figura A.3.5 - Perfil de carga diário da solução otimizada para época de arrefecimento - Zona climática Porto

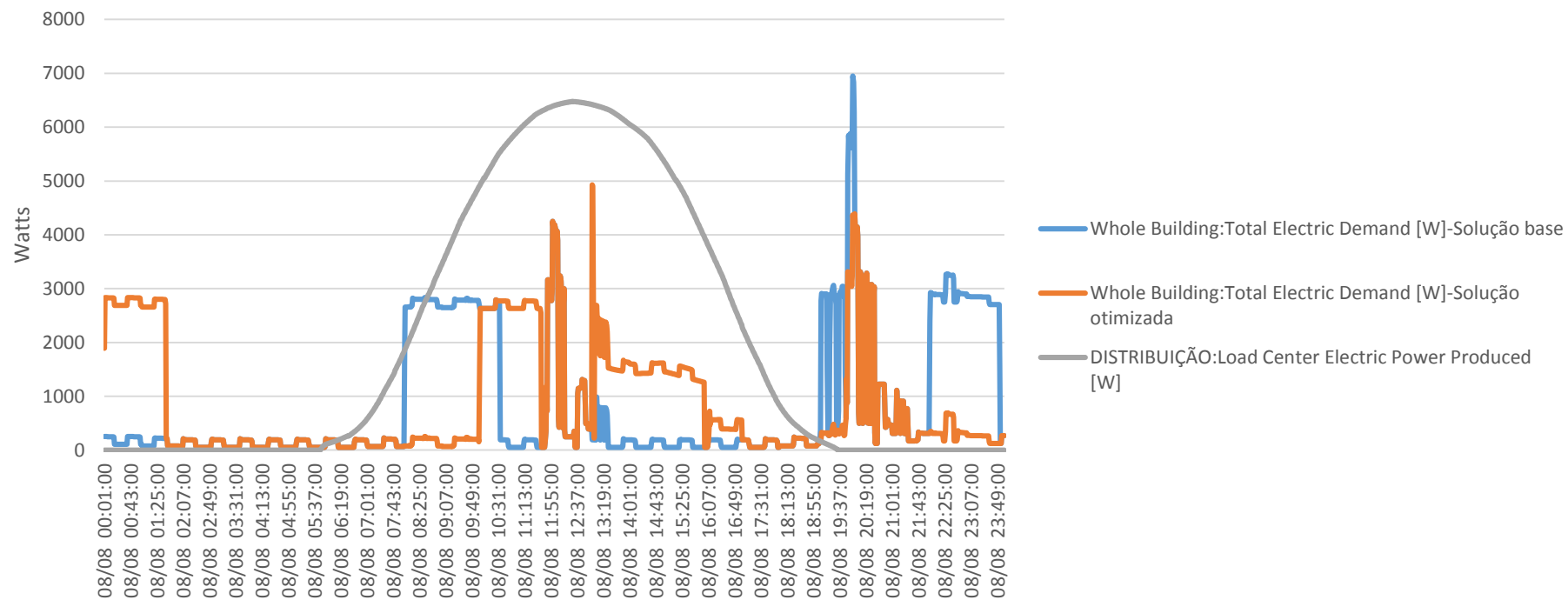


Figura A.3.6 - Perfil de carga diário total para a época de arrefecimento solução base e solução otimizada- Zona climática Porto

